ஒலி நூல்

கா. நூ. வெ இ. வரிசை எண்—235

ஒலி நூல்

(சிறப்புப் பாடம்)

(பட்டப்படிப்பிற்குரியது)

திரு. டி. முருகையன்
முதல்வர்,
இராசா சரபோஜி அரசினர் கல்லூரி,
தஞ்சாவூர்.

கல்லூரி நூல் வெளியீட்டு இயக்குநரகம்
தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம்

First Edition—July, 1970

D.P.C. No. 235

© Directorate of Collegiate Publications

SOUND (Major)

T. MURUGAIYAN

Net Price Rs. 5-00
(No discount)

Printed by
BHARANI PRESS,
55, Perambur Barracks Road,
Madras-7.

அணிந்துரை

(திரு. இரா. நெடுஞ்செழியன், தமிழகக் கல்வி-சுகாதார அமைச்சர்)

தமிழைக் கல்லூரிக் கல்வி மொழியாக ஆக்கிப் பத்து ஆண்டுகள் ஆகிவிட்டன. குறிப்பிட்ட சில கல்லூரிகளில் பி.ஏ. வகுப்பு மாணவர்கள் தங்கள் பாடங்கள் அனைத்தையும் தமிழிலேயே கற்று வந்தனர். 1968ஆம் ஆண்டின் தொடக்கத்தில் புகுமுக வகுப்பிலும் (P.U.C.), 1969ஆம் ஆண்டிலிருந்து பட்டப்படிப்பு வகுப்புகளிலும் விஞ்ஞானப் பாடங்களையும் தமிழிலேயே கற்பிக்க ஏற்பாடு செய்துள்ளோம். தமிழிலேயே கற்பிப்போம் என முன்வந்துள்ள கல்லூரி ஆசிரியர்களின் ஊக்கம், பிறபல துறைகளிலும் தொண்டுசெய்வோர் இதற்கெனத் தந்த உழைப்பு, தங்கள் சிறப்புத் துறைகளில் நூல்கள் எழுதித் தர முன்வந்த நூலாசிரியர்கள் தொண்டுணர்ச்சி இவற்றின் காரணமாக இத் திட்டம் நம்மிடையே மகிழ்ச்சியும் மன நிறைவும் தரத்தக்க வகையில் நடைபெற்று வருகிறது. இவ் வகையில், கல்லூரிப் பேராசிரியர்கள் கலை, அறிவியல் பாடங்களை மாணவர்க்குத் தமிழிலேயே பயிற்றுவிப்பதற்குத் தேவையான பயிற்சியைப் பெறுவதற்கு மதுரைப் பல்கலைக்கழகம் ஆண்டு தோறும் எடுத்துவரும் பெருமுயற்சியைக் குறிப்பிட்டுச் சொல்ல வேண்டும்.

பல துறைகளில் பணிபுரியும் பேராசிரியர்கள் எத்தனையோ நெருக்கடிகளுக்கிடையே குறுகிய காலத்தில் அரிய முறையில் நூல்கள் எழுதித் தந்துள்ளனர்.

வரலாறு, அரசியல், உளவியல், பொருளாதாரம், தத்துவம், புவியியல், கணிதம், பௌதிகம், வேதியியல், உயிரியல், வானியல், புள்ளியியல் ஆகிய எல்லாத் துறைகளிலும் தனி நூல்கள், மொழி பெயர்ப்பு நூல்கள் என்ற இரு வகையிலும் தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனத்தின் கல்லூரி நூல் வெளியீட்டு இயக்குநரகம் நூல்களை வெளியிட்டு வருகிறது.

இவற்றுள் ஒன்றான 'ஒலி நூல்' என்ற இந் நூல் தமிழ் நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம்—கல்லூரி நூல் வெளியீட்டு இயக்குநரகத்தின் 235ஆவது வெளியீடாகும். இதுவரை 270 நூல்கள் வெளிவந்துள்ளன.

உழைப்பின் வாரா உறுதிகள் இல்லை; ஆதலின், உழைத்து வெற்றி காண்போம். தமிழைப் பயிலும் மாணவர்கள் உலக மாணவர்களிடையே சிறந்த இடம் பெறவேண்டும்; அதுவே தமிழன்னையின் குறிக்கோளுமாகும். தமிழ்நாட்டுப் பல்கலைக் கழகங்களின் பலவகை உதவிகளுக்கும் ஒத்துழைப்புக்கும் நம் மனம்கலந்த நன்றி உரித்தாகுக.

இரா. நெடுஞ்செழியன்

பொருளடக்கம்

பக்கம்

1. ஒலி பரப்புதல் ... 1

தோற்றுவாய்—ஒலி பரவுவதற்கு ஊடகம் தேவை—ஒலி பரவுதல்—ஒலி வேகம்—அலையியக்கப் பகுப்பாய்வு—ஒலிபரப்பின் சமன்பாடுகள்—முன்னேறு அலைகள்—நிலையான அலைகள்—சீரிசை இயக்கங்களின் தொகுப்பு—தடையுறு அலைவுகள்—திணிப்பு அலைவுகள்—ஒத்திசை—சமச் சீரான அதிர்வுகளும் சமச் சீரில்லாத அதிர்வுகளும்—கேள்விகள்.

2. அலைவுப் பாங்குகள் ... 46

அதிர்வு வகைகள்—திடப்பொருளும் குறுக்கலைகளும்—கம்பிகளும் நிலை அதிர்வுகளும்—சோனுமீட்டர்—மெல்டே இழை—திட, திரவப் பொருள்களும் நெட்டலைவுகளும்—வாயுப் பொருள்களும் நெட்டலைவுகளும்—நியூட்டனின் வாய்பாடு—லாப்ளாசின் திருத்தம்—வாயுத் தம்பங்களின் அலைவுகள்—வாயுவில் ஒலிவேகம் ஒத்திசைத் தம்பம் பரிசோதனை—குண்ட் குழாய்—ஹெல்ம்ஹோல்ட்ஸ் ஒத்திசைவி—மெல்லேடுகளும் தகடுகளும்—மணியோசை—காது—மாதிரிக் கணக்குகள்.

3. ஒலி அலைகளின் குணங்கள் ... 94

ஒலியும் ஒளியும்—ஒலியின் எதிரொலிப்பு—எதிரொலியின் பயன்கள்—இசை எதிரொலி—மேல்சுர எதிரொலி—மெல்லொலி மாடம்—ஒலி விலகல்—காற்றுவேக வாட்டங்களும் ஒலி விலகலும்—வெப்பநிலை வாட்டங்களும் ஒலி விலகலும்—அமைதி மண்டலங்கள்—ஒலிக் குறுக்கீட்டு விளைவு—ஒளியின் விளிம்பு விலகல்—வாய் ஒலி பரப்பி—ஒலிச் சிதறல்—ஒலி உட்கவர்தல்—டாப்ளர் விளைவு.

4. ஒலியியல் சோதனை முறைகள் ... 118

திடப்பொருள்களில் ஒலி வேகங்கள்—திரவப் பொருள்களில் ஒலி வேகங்கள்—காற்றில் ஒலி வேகம்—இதர வாயுப்பொருள்களில் ஒலியின் வேகம்—உயர் அதிர்வெண் ஒலிகளின் வேகம்—ஃபோனிக் சக்கரம்—ஸ்ட்ரோபாஸ்கோப்—விழும் தட்டு—சவார்ட் சக்கரம்—தட்டுச் சங்கு—கான்னியார்ட் டீ லட்டூர்—ஒலிச் செறிவு—கேள்திறன் எல்லைகள்.

5. இசை ஒலிகள் ... 140

இசையும் இரைச்சலும்—இசை சுரங்களின் பண்புகள்—சீரிசைப் பகுப்பாய்வு—அலைப் படங்களின் பகுப்பாய்வு முறைகள்: ஃபூரியர் பகுப்பாய்வு—மில்லர் ஃபோனோடைக்— எதிர்மின் கதிர் ஆஸிலோகிராஃப்—விம்மலோசைகள்—கூட்டோசை—இணக்க இசையும் பிணக்க இசையும்—கேள்விகள்.

6. இசையணிகளும் இசைக் கருவிகளும் ... 155

லய இசை—ஒழுங்கு இசை—ஒருங்கு இசை—மேளுட்டு இசை—கர்நாடக இசை—பேரலகு—சிற்றலகு—பன்னிரண்டு சுரக் கருத்து—சுதி மட்டுப்பாடு—சரி சம சுதி சுரவரிசை—லாகரிதமிக் சதவீதம்—இசைக் கருவிகள்—வீணை—வயலின்—பியானோ—புல்லாங்குழல்—நாதஸ்வரம்—ஆர்கன் குழாய்—அழுத்த வேறுபாட்டுச் சுடர்—கால்ட்டன் ஊதல்—மிருதங்கம்—மனிதக்குரல்—கேள்விகள்.

7. காப்பதிர்வுகள் ... 182

காக்கும் முறைகள்—மின்னிசைக்கவை—இசைக் கவையின் எலெக்ட்ரான் வால்வு காப்பதிர்வுகள்—வெப்பத்தால் தாக்கப்படும் அதிர்வுகள்: ட்ரெவெல்யன் ராக்கர்—பாடும் சுடர்—ரிஜ்கேயின் காஸ் ஒலி—உணர்வுச் சுடர்களும் ஜெட்களும்—வயலின் வில்லின் காப்பதிர்வுகள்—கேள்விகள்.

8. தொழில் நுட்ப ஒலியியல் ... 198

ஒலிப்பதிவும் ஒலி மீட்சியும்—ஃபோனோகிராப்—கிராமஃபோன்—இசைத்தட்டு—காந்த நாடா (கம்பி) ஒலிப்பதிவு—திரைப்பட ஒலிப்பதிவு—மாறுபடும் அடர்த்தி முறை—மாறுபடும் பரப்புமுறை—திரைப்பட ஒலிப் பிரதிபலிப்பு.

கட்டட ஒலியியல்—எதிர்முழக்கம்—ஒலி குவிதல் ஒத்திசைவும் குறுக்கீடும்—எதிரொலிகள்.

செவியுணரா ஒலியியல்—அழுத்த மின் துடிப்பான் முறை—காந்தப் பரிமாண மாற்றமுறை—குணங்கள்—விளைவுகள்—பயன்கள்—கேள்விகள்.

கலைச்சொற்கள்

ஆங்கிலம்—தமிழ் ... 224

தமிழ்—ஆங்கிலம் ... 247

ஒலி நூல்

1. ஒலி பரப்புதல்

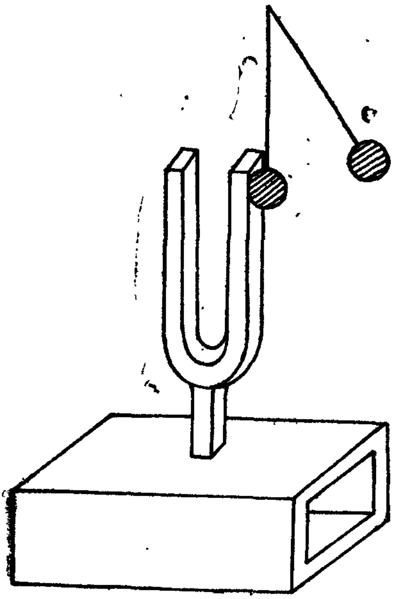
1. தோற்றுவாய்

ஒலி என்றால் நமது காதில் ஏற்படும் உணர்ச்சியென்று நாம் பொதுவாகக் கருதுகிறோம். ஆனால், விஞ்ஞானிகளோ இது காதுக்கு வெளியே உருவாகும் ஒரு நிகழ்ச்சியென்றும், இது ஒருவித ஆற்றலாக மாறிக் கேள்விப் புலனை இயக்குகின்றதென்றும் கொள்கின்றனர். நமது எண்ணங்களையும் உணர்ச்சிகளையும் வெளியிடுவதற்கு இது ஒரு சிறந்த வழி. இசைக் கலையிலோ, ஒலியானது நுண் கலையின் உன்னத நிலையை எய்துகிறது.

ஒலியெழுப்பும் எந்தப் பொருளும் ஒருவித அதிர்வு நிலையிலிருக்கவேண்டும். அப் பொருள் சாதாரணமாகப் பொருத்தமான மூலப் பொருளால் பொருத்தமான வகையில் உருவாக்கப்பட்டிருக்க வேண்டியதும் முக்கியம். அதிர்வு சிக்கலானதாகத் தோன்றினாலும், பிரித்தாராய்ந்தால் எளிய அலைகளின் தோற்றத்தையே கொடுக்கும். இழுக்கப்பட்ட ஒரு கம்பியோ அல்லது இசைக் கவடோ இவ் வகை ஒலியை எழுப்பும். ஒலியெழுப்பும் பொருள் அதிர்வு நிலையிலிருக்க வேண்டுமென்பதைக் கீழ்க்கண்ட சோதனையால் விளக்கலாம்:

இசைக்கவடு என்பது அழுத்தமான எஃகினாலோ அல்லது ட்யூராலுமின் (duralumin) என்னும் மூலப்பொருளாலோ ஆன ஒரு கருவி. இதற்கு ஒரு தண்டு உண்டு. அத் தண்டின் மேல் ஒரு கவடு இருக்கும். படத்தில் கண்டுள்ளபடி இசைக்கவட்டின் தண்டானது ஓர் ஒலிப்பெட்டியின்மீது பொருத்தப்பட்டுள்ளது.

இசைக் கவட்டின் ஒரு முள்ளை (prong) ஒரு ரப்பர் சுத்தியால் தட்டினால், அது துடிக்க ஆரம்பிக்கும்; நிதானமான ஒலியெழும்பும். இப்பொழுது ஒரு கயிற்றின் நுனியில் தொங்கிக் கொண்டிருக்கும் ஒரு தக்கையாலான பந்து இசைக்கவட்டின் ஒரு கையைத் தொடும்படிச் செய்தால், பந்து குறிப்பிட்ட நேரத்திற்கொரு முறை தள்ளப்படும். இதிலிருந்து இசைக் கவடு அதிர்ந்து கொண்டிருக்கிறதென்பது நன்கு புலப்படுகிறது.



படம் 1.

துடிக்கும் எப்பொருளும் குறித்தவொரு கால அளவில் ஓர் அலைவை முடிக்கும். இந்நேரத்திற்கு அதிர்வு நேரம் (period) என்று பெயர். இது போலவே துடிக்கும் ஒவ்வொரு பொருளும் ஒவ்வொரு விநாடியிலும் ஒரு குறிப்பிட்ட முறைகள் துடிக்கும். இவ்வெண்ணிற்கு அதிர்வெண் (frequency) எனப் பெயர். இவ்விரண்டினையும் பின்வருமாறு வரையறுக்கலாம்:

n துடிப்புகளுக்கு வேண்டிய நேரம் $= 1$ விநாடி

$\therefore$ 1 துடிப்புக்கு வேண்டிய நேரம் $= \frac{1}{n}$ விநாடி.

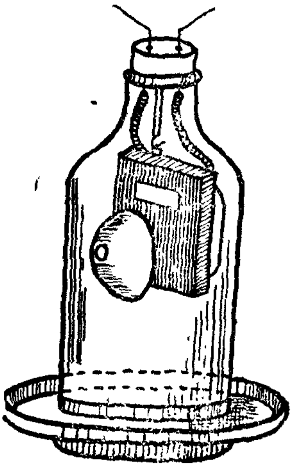
அதாவது, $T = \frac{1}{n}$

அல்லது, $n = \frac{1}{T}$

2. ஒலி பரவுவதற்கு ஊடகம் (medium) தேவை

ஒளியைப்போல் எல்லா இடங்களிலும், வெற்றிடத்திற்கூடப் பரவுவதற்கு ஒலியால் இயலாது. ஒலி பரவ ஓர் இடைப்பொருள் கட்டாயமாகத் தேவைப்படுகிறது. இவ்வுண்மையைக் கீழ்க்கண்ட சோதனையால் விளக்கலாம்.

ஒரு மணிஜாடியின் (Bell-jar) வாய் இரண்டு துவாரங்களுள்ள ஒரு தக்கையால் மூடப்பட்டிருக்கிறது. தக்கையிலிருந்து ஒரு மின்சார மணி தொங்கவிடப்பட்டிருக்கிறது. மின்சார மணியின் இணைப்புக் கம்பிகளிரண்டும் அந்த இரு துவாரங்களின் வழியே வெளிவந்துள்ளன. மணி ஜாடியானது வாயு வாங்கி (exhaust pump) ஒன்றின் மேல் தகட்டில் (bed plate) பொருத்தப்பட்டுள்ளது. இப்பொழுது கம்பிகளின் வழியே மின்சாரத்தைப் பாய்ச்சினால் மின்சார மணி அடிக்கும். அது எழுப்பும் ஒலியும் நமக்குக் கேட்கும். இந்த ஒலி மணிஜாடியிலுள்ள காற்றின் வழியே பரவி நமக்குக் கேட்கும். ஆனால், வாயு வாங்கியைக் கொண்டு காற்றை மணிஜாடியினின்றும் அகற்றினால் வரவர ஒலி குறைவதைக் காணலாம். இவ்வாறு மணிஜாடியிலுள்ள எல்லாக் காற்றையும் வெளிவாங்கிவிட்டால், ஒலி முற்றிலும் குறைந்துவிடும். இதிலிருந்து ஒலி ஓரிடத்திலிருந்து மற்றோரிடத்திற்குச் செல்ல இடையேயுள்ள காற்று சாதனமாகவிருக்கிறதென்பது நன்றாகப் புலப்படும். வாயுவைப்போலவே, திடப்பொருளும் திரவப்பொருளும் சாதனமாக அமையக்கூடும். எனவே, ஒலி பரவுவதற்கு இடைப்பொருளொன்று தேவையென்று விளங்குகின்றது.



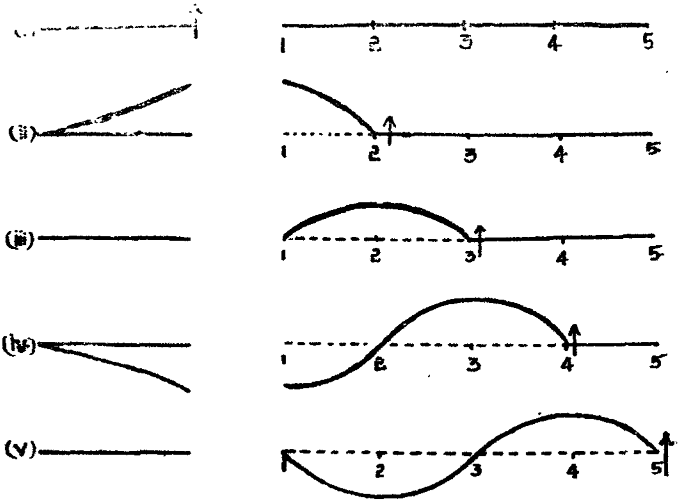
படம் 2.

3. ஒலி பரவுதல்

இயக்கப்பட்ட இடைப்பொருளின் துகள்கள் ஒழுங்காகச் செயல்படுகின்றன. இச் செயலை இரு திசைகளில் ஆராயலாம். ஒன்று பொருள் துடிக்கும் திசை. மற்றொன்று துடிக்கும் திசைக்குச் செங்குத்தான திசை.

(a) குறுக்கலைகள் (transverse waves): கீழே காணப்படும் படத்தைக் கவனிக்கவும் (படம் 3). இது துடிக்கும் இசைக்கவட்டின் பல்வேறு நிலைகளையும், அந்நிலைகளில் ஒலி அலைகள் பரப்பப்படுவதையும் விளக்குகின்றது. ஒரு முழுத் துடிப்பின்போது ஓர் இசைக்கவடு அமையும் ஐந்து முக்கிய நிலைகள் இடதுபுறம்

காட்டப்பட்டுள்ளன. இரண்டு நிலைகளுக்குமுள்ள நேரம் ஓர் அலைவு நேரத்தின் கால் பாகம் ($T/4$) ஆகும். வலது புறத்தில் ஐந்து



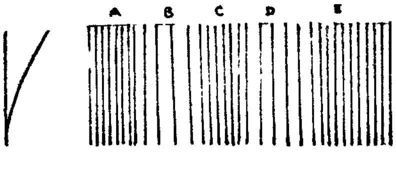
படம் 3.

துகள்கள் குறிக்கப்பட்டுள்ளன. இவற்றுள் ஒவ்வொன்றும் $T/4$ நேரங்கழித்து இயக்கப்படுகின்றது.

முதல் படத்தில் இசைக் கவடு நடுநிலையிலிருந்து துடிக்க ஆரம்பிக்கும் தருணத்திலிருக்கிறதென்பதை உணர்த்துகிறது. முதல் துகளும் மேலே எழும் தறுவாயிலுள்ளது. இரண்டாவது படம் இசைக்கவடு $T/4$ நேரங்கழித்துள்ள நிலையைக் குறிக்கின்றது. முதல் துகள் மேல்நோக்கி எவ்வளவு தூரம் செல்ல முடியுமோ அவ்வளவு தூரம் சென்றிருக்கும் நிலையையும், இரண்டாவது துகள் தனது துடிப்பை ஆரம்பிக்கும் நிலையையும் காட்டுகின்றது. இவ்விரண்டு துகள்களுக்கும் இடையேயுள்ள துகள்கள் மேலே நகர்ந்து வெவ்வேறு நிலைகளிலுள்ளன. இவையெல்லாம் 1-க்கும் 2-க்கும் இடையே இழுக்கப்பட்டுள்ள வளைகோட்டில் அமைந்திருக்கின்றன. மூன்றுவது படம் $T/2$ விநாடிகள் கழித்து இருக்கும் நிலையை விளக்குகின்றது. இசைக் கவடு தனது பழைய நிலைக்குத் திரும்பியுள்ளது; கீழ் நோக்கி நகர இருக்கின்றது. 1 ஆவது துகள் தனது ஆரம்ப நிலைக்கும், 2 ஆவது துகள் தனது மேல் உச்ச நிலைக்கும், 3 ஆவது துகள் தனது துடிப்பை ஆரம்பிக்கும் நிலைக்கும் வந்துள்ளன. 1-க்கும், 3-க்கும் இடையே

யுள்ள துகள்கள் அவற்றிற்கிடையேயுள்ள வளைகோட்டில் அமைந்துள்ளன. நான்காவது படம் இசைக்கவடு $\frac{3}{4}T$ நேரங்கழித்துள்ள நிலையையும், குறிப்பிட்ட நான்கு துகள்களும் அவற்றின் இடையேயுள்ள மற்றெல்லாத் துகள்களும் இருக்கும் நிலைகளைக் காட்டுகின்றது. ஐந்தாவது படத்தில் இசைக் கவடு ஒரு முழுத்துடிப்பை முடித்துவிட்ட நிலையைக் காட்டுகின்றது. மற்றும் பொறுக்கப்பட்ட ஐந்து துகள்களும் எந்நிலைகளில் இருக்கின்றனவென்பதையும் காண்கின்றோம். முதல் துகள் ஒரு துடிப்பை முடித்துக்கொண்டு, இரண்டாவது துடிப்பை ஆரம்பிக்கும் நிலையிலிருக்கின்றது. இசைக் கவடு தனது இரண்டாவது துடிப்பை ஆரம்பிக்கும்பொழுது, முதல் துகளும் தனது இரண்டாவது துடிப்பை ஆரம்பிக்கும். ஐந்தாவது துகள் அப்பொழுதுதான் தனது முதல் துடிப்பை ஆரம்பிக்கும். இதுபோலவே இசைக் கவடு துடித்துக் கொண்டிருக்கும்பொழுது, இடைப் பொருளின் எல்லாத் துகள்களும் திரும்பத் திரும்பத் துடித்துக்கொண்டேயிருக்கும். துடிக்கும் துகள்கள் ஓர் அலை வடிவத்தில் அமைகின்றன. ஒலி பரவும் திசைக்குச் செங்குத்தான திசையில் துகள்கள் துடிக்கின்றன. ஆகவே, இவ்வலை குறுக்கலையென விளம்பப்படுகிறது. மேலும் துடிக்கும் துகள்கள் அலையுடனே நகர்ந்துவிடுவதில்லை. மைய நிலையில் நின்று துடிக்கின்றன. ஆகவே, நகருவது ஆற்றலே தவிர, துகள்களல்ல ; பொருளன்று.

(b) நெட்டலைகள் (Longitudinal waves): இப்பொழுது இசைக் கவடு துடிக்கும் திசையில் உள்ள துகள்களைக் கவனிப்போம். கவடு முன்னோக்கி நகரும்பொழுது, தனதருகிலுள்ள துகள்களை நெருக்குகின்றது. நெருக்கப்பட்ட துகள்கள் உடனே விலக்கம் பெறுகின்றன (தளர்கின்றன). அப்பொழுது பக்கத்திலுள்ள துகள்களைத் தள்ளுகின்றன. கவடு இறுதி நிலையை அடையும்பொழுது, நெருக்கம் (அடர்த்தி) உச்ச நிலையை அடைகின்றது.



படம் 4.

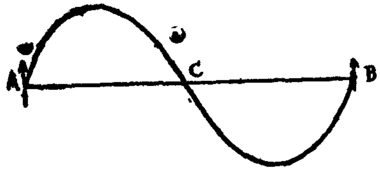
கவடு பின்னோக்கி நகரும்பொழுது, துகள்கள் விரிவடைகின்றன. இந்த விரிவு பக்கத்திலுள்ள துகள்களுக்கும் பரவுகின்றது. எனவே, இங்கும் துகள்கள் முன்னும் பின்னும் நகரு

கின்றனவேயொழிய, அவை ஒலியுடனே சென்றுவிடுவதில்லை; நெருக்கமும் விலக்கமும்தான் ஒலி பரவும் திசையில் நகருகின்றன. இந்தச் சலனத்திற்குத்தான் நெட்டலையென்று பெயர். துகள் நகரும் திசையிலேயே ஒலியும் பரவுமானால், அலைக்கு நெட்டலையென்று பெயர்.

குறுக்கலையின் முகடு (crest) நெட்டலையின் நெருக்கத்திற்கும், குறுக்கலையின் அகடு (trough) நெட்டலையின் விரிவுக்கும் ஒப்பாகும். அகடுகளும் முகடுகளும் எப்படித் துகளிலிருந்து துகளுக்கு நகருகின்றனவோ அதுபோலவே, விரிவும் நெருக்கமும்கூடத் துகளிலிருந்து துகளுக்கு நகருகின்றன. அலைகள் குறுக்கலையாயினும் நெட்டலையாயினும், துகள்கள் துடிப்பதற்கு மூல காரணம் துடிக்கும் இசைக்கவடேயாகும். இரண்டுவித அலைகளுமே முன்னேறு அலைகள் (progressive waves) எனப்படும்.

4. ஒலி வேகம்

குறிப்பிட்ட ஒரு சமயத்தில் துடிக்கும் துகள்கள் இருக்கும் அமைப்பைக் கீழே காணப்படும் வளைகோடு குறிக்கின்றது. A-யும் B-யும் மேல்நோக்கி நகரத் துவங்கும் இரண்டு துகள்கள். எல்லாச் சமயங்களிலும் அவை அந்தந்தத் துடிக்கும் நிலையிலேயே இருக்கும். இவ்விரண்டு துகள்களுக்கிடையேயுள்ள தொலைவு, அலை நீளம் (wave length) எனப்படும்.



படம் 5.

ஒவ்வொரு சமயத்திலும் ஒரே துடிக்கும் நிலையிலுள்ள அடுத்தடுத்திருக்கும் இரு துகள்களுக்கிடையேயுள்ள தூரம் அலை நீளமெனப்படும்.

அலை நீளம் λ என்னும் குறியால் தெரிவிக்கப்படும். A அதிர ஆரம்பித்து ஓர் அதிர்வு நேரத்தின்பின்தான் B துடிக்க ஆரம்பிக்கும். ஆகையால், A B என்ற தூரத்தைக் கடக்க அலைக்கு T விநாடிகள் ஆகின்றன.

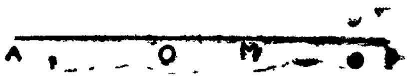
$$\text{ஒலி வேகம் } v = \frac{\text{அலை நீளம்}}{\text{அதிர்வு நேரம்}} = \frac{\lambda}{T}$$

$$\therefore v = n\lambda.$$

5. அலையியக்கப் பகுப்பாய்வு (Analytical treatment of Wave Motion)

(a) ஒத்திசை இயக்கம் (Simple harmonic motion): ஒரு துகளானது ஒரு நேர்கோட்டில் இயங்கிக் கொண்டிருக்கும் பொழுது, அதன் முடுக்கம் அதே நேர் கோட்டிலுள்ள ஒரு குறிப்பிட்ட புள்ளியை நோக்கி அமைந்து, அதன் மதிப்பு துகளுக்கும் புள்ளிக்குமிடையேயுள்ள தூரத்தைப் பொறுத்திருக்குமாயின், துகளின் இயக்கம் 'சீரிசை இயக்க'மெனப்படும். பொதுவாக ஒலி அலைகளால் பாதிக்கப்பட்ட இடைநிலைப்பொருளிலுள்ள துகள்கள் ஒத்திசை இயக்கத்திலீடுபடுகின்றன. ஊசலின் இயக்கம் ஒத்திசை இயக்கத்திற்கொரு முக்கிய உதாரணம்.

கால நிர்ணயப்படி A B என்னும் நேர் கோட்டில் இயங்கும் ஒரு துகளைக் கவனிப்போம். O என்னும் புள்ளி A B-யின் மையமாகும். M என்னும் துகள் ஒத்திசையியக்கத்திலீடு பட்டிருப்பதாக வைத்துக் கொள்வோம். M-ன் முடுக்கம் எப்பொழுதும் மையத்தை நோக்கியிருக்க வேண்டும். அதன் மதிப்பு OM என்ற தூரத்தைப் பொறுத்திருக்கும். OM என்ற தூரத்தை x என்று வைத்துக்கொண்டால்,



படம் 6.

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -\omega^2 x.$$

ω மாறுத மதிப்புடையது. — என்ற குறைக்குறி, இடப்பெயர்ச்சியும் முடுக்கமும் எதிர்த்திசைகளிலுள்ளன என்பதைக் குறிக்கும். துகளின் திசை வேகத்தை v என்ற குறியாக எடுத்துக்கொண்டால்,

$$\frac{dv}{dt} = \text{முடுக்கம்}$$

$$= -\omega^2 x.$$

$$\frac{dv}{dx} \cdot \frac{dx}{dt} = -\omega^2 x$$

$$v \cdot \frac{dv}{dx} = -\omega^2 x$$

$$\therefore \quad v \cdot dv = -\omega^2 \cdot x dx.$$

தொகுக்க,

$$v^2 = \omega^2 - x^2 + C$$

x-ன் மதிப்பு கூடும்பொழுது, v-ன் மதிப்பு குறைகிறது. ஒரு சமயத்தில் v-ன் மதிப்பு சுழியாகிறது. அப்பொழுது M இருக்குமிடம் A என்று கணக்கிடுவோம்; OA-ன் மதிப்பு a என்று கொள்

வோம். துகள் A என்ற இடத்திலிருந்து நகர ஆரம்பிக்கும் பொழுதிலிருந்து காலத்தைக் கணக்கிடுவோம். பிறகு $t = 0$ ஆக இருக்கும்பொழுது, $v = 0$ ஆகவும், $x = a$ ஆகவும் இருக்கின்றன. ஆகவே,

$$0 = -\omega^2 a^2 + C$$

அல்லது $C = \omega^2 a^2$.

$$\therefore \quad v^2 = \omega^2 a^2 - \omega^2 x^2$$
$$= \omega^2 (a^2 - x^2)$$
$$\therefore \quad v = \pm \sqrt{\omega^2 (a^2 - x^2)}$$

இதிலிருந்து, $v = +\omega \sqrt{a^2 - x^2}$ என்றும்

$v = -\omega \sqrt{a^2 - x^2}$ என்றும் கொள்ளலாம்.

(i) $v = \omega \sqrt{a^2 - x^2}$

மேலும், $v = \dfrac{dx}{dt}$

$$\therefore \quad \frac{dx}{dt} = \omega \sqrt{a^2 - x^2}$$

$$\frac{dx}{\sqrt{a^2 - x^2}} = \omega . dt$$

தொகுத்தால்,

$$\sin^{-1}\left(\frac{x}{a}\right) = \omega t + C$$

(a) துகள், B என்ற இடத்திலிருக்கும் பொழுதிலிருந்து இயக்கத்தைக் கணக்கிட ஆரம்பித்தால், $t = 0$ ஆக இருக்கும் பொழுது, $x = a$.

அப்பொழுது,

$$\sin^{-1}\left(\frac{a}{a}\right) = 0 + C$$

$$\sin C = 1$$
$$C = \pi/2$$

ஆகையால்,

$$\sin^{-1}\left(\frac{x}{a}\right) = \omega t + \pi/2$$

$$\frac{x}{a} = \sin(\omega t + \pi/2)$$
$$= \cos \omega t$$
$$\therefore \quad x = a \cos \omega t$$

(b) துகள் மையத்தைக் கடக்கும்பொழுது இயக்கத்தைக் கணக்கிடத் தொடங்கினல், $t=0$, ஆக இருக்கும்பொழுது, $x=0$

அப்பொழுது, $\sin^{-1}\left(\frac{0}{a}\right) = 0 + C$

$$\sin C = 0$$

$$C = 0$$

ஆகையால், $\sin\left(\frac{x}{a}\right) = \omega t$

$$\frac{x}{a} = \sin \omega t$$

$$x = a \sin \omega t$$

(ii) இப்பொழுது $v = -\omega\sqrt{a^2 - x^2}$ என்னும் சூத்திரத்தைக் கவனிப்போம்.

$$v = -\omega\sqrt{a^2 - x^2}$$

மேலும், $v = \frac{dx}{dt}$

$$\therefore \quad \frac{dx}{dt} = -\omega\sqrt{a^2 - x^2}$$

$$-\frac{dx}{\sqrt{a^2 - x^2}} = \omega . dt$$

தொகுத்தால்,

$$\cos^{-1}\left(\frac{x}{a}\right) = \omega t + C$$

(a) துகள் B என்னும் இடத்திலிருக்கும்பொழுது, இயக்கத்தைக் கணக்கிடத் தொடங்கினல், $t=0$ வாக இருக்கும்பொழுது, $x = a$.

அப்பொழுது, $\cos^{-1}\left(\frac{a}{a}\right) = 0 + C$

$$\cos C = 1$$

$$C = 0$$

ஆகையால், $\cos^{-1}\left(\frac{x}{a}\right) = \omega t$

$$\cos \omega t = \frac{x}{a}$$

$$x = a \cos \omega t$$

(b) துகள் மையத்தைக் கடக்கும்பொழுது இயக்கத்தைக் கணக்கிடத் தொடங்கினால், $t = 0$ ஆக இருக்கும்பொழுது $x = 0$.

அப்பொழுது,

$$\cos^{-1}\left(\frac{0}{a}\right) = 0 + C$$
$$\cos C = 0$$
$$C = \pi/2$$

ஆகையால்,

$$\cos^{-1}\left(\frac{x}{a}\right) = \omega t + \pi/2$$
$$\frac{x}{a} = \cos(\omega t + \pi/2)$$
$$= \sin \omega t$$
$$x = a \sin \omega t$$

எனவே, சீரிசை இயக்கத்திலிருக்கும் துகளின் இடப் பெயர்ச்சியை $x = a \cos \omega t$ அல்லது $x = a \sin \omega t$ என்ற சூத்திரத்தினால் குறிப்பிடலாம் என்று விளங்குகிறது. துகள் மையத்தைக் கடக்கும்பொழுது இயக்கத்தைக் கணக்கிடத் தொடங்கினால், இடப்பெயர்ச்சி $x = a \sin \omega t$ என்றும், துகள் முனையைக் கடக்கும் பொழுதிலிருந்து கணக்கிட்டால், இடப்பெயர்ச்சி $x = a \cos \omega t$ என்றும் புலப்படும்.

(a) வீச்சு, அதிர்வு நேரம், அதிர்வெண் : முன்பகுதியில் $v = -\omega\sqrt{a^2 - x^2}$ என்று கண்டோம். இதிலிருந்து x-ன் மதிப்பு $\pm a$ என்றிருக்கும்பொழுது, துகளின் வேகம் சுழியென்று விளங்கும். எனவே, துகளானது இரண்டு இடங்களில் கண நேரம் நிற்கிறது. இவை O என்னும் புள்ளியிலிருந்து சம தூரத்தில் $(OA = OB = a)$ இருக்கின்றன. அல்லது O என்னும் புள்ளியை மையமாகக் கொண்டு A, B இரண்டு புள்ளிகளுக்கிடையே M என்ற துகள் இயங்குகின்றது எனக் கொள்ளலாம்.

மேலும்,

$$\frac{dx}{dt} = v$$
$$= -\sqrt{\omega^2(a^2 - x^2)}$$
$$\therefore \quad -\frac{dx}{\sqrt{a^2 - x^2}} = \omega . dt$$
$$\therefore \quad \int -\frac{dx}{\sqrt{a^2 - x^2}} = \int \omega . dt$$

$$i.e. \quad \cos^{-1}\left(\frac{x}{a}\right) = \omega t + C$$

x என்ற தூரம், 'a'-க்குச் சமமாக இருக்கும்பொழுது $t = 0$ ஆகவே, $C = 0$,

$$\therefore \quad \cos^{-1}\frac{x}{a} = \omega t$$

$$i.e. \quad \cos \omega t = \frac{x}{a}$$

$$\therefore \quad x = a \cos \omega t.$$

இப்பொழுது $OA = OB = a$. அதாவது இயங்கும் துகள் மையத்தி லிருந்து பெரும (maximum) தூரம் செல்வது a-க்குச் சமமாகும். இந்தத் தூரத்திற்கு 'வீச்சு' என்று பெயர். எந்தக் கணத்திலும் மையத்திற்கும் துகளுக்குமிடையேயுள்ள தூரம் (OM) 'இடப் பெயர்ச்சி' எனப்படும். மேலும்,

$$x = a \cos \omega t$$

என்ற சமன்பாட்டிலிருந்து, t-ன் மதிப்பு $\frac{2\pi}{\omega}$ என்ற விகிதத்தில் அதிகரிக்கும்பொழுது, x-ன் மதிப்பு மாறவில்லையென்பதும் விளங்கும்.

$$\text{அதாவது,} \quad x = a \cos \omega t$$
$$= a \cos \omega \left(t + \frac{2\pi}{\omega}\right)$$
$$= a \cos (\omega t + 2\pi)$$
$$= a \cos \omega t$$

இதுபோன்றே, t-யின் அதிகரிப்பு, $\frac{dx}{dt}$-யின் மதிப்பையும் மாற்று வதில்லை. ஆகவே, குறிப்பிட்ட $\frac{2\pi}{\omega}$ என்ற இடைவேளை ஒவ் வொன்றிற்குப் பிறகும், துடிக்கும் துகளானது ஒரே திசையில் ஒரே வேகத்தில் ஒரே இடத்தைக் கடக்கிறது. இந்தக் குறிப் பிட்ட இடைவேளைக்குத்தான் சீரிசை இயக்கத்தின் (S.H.M.) அதிர்வு நேரம் (period) என்று பெயர்.

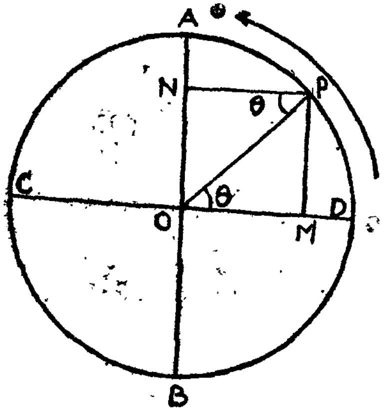
$$\therefore \quad T = \frac{2\pi}{\omega}$$

அதிர்வு நேரத்தின் தலைகீழ் மதிப்பு, அதிர்வெண் (frequency) எனப்படும். இயங்கும் துகள் ஒவ்வொரு விநாடியிலும் எத்தனை முறை இயங்குகிறதென்பதை அதிர்வெண் குறிக்கும்.

$$n = \frac{1}{T}$$

$$= \frac{\omega}{2\pi}$$

சீரிசை இயக்கத்தை வேறொரு விதத்திலும் விளக்கலாம். சீரான வேகத்துடன் ஒரு வட்டத்தின் பரிதி வழியே இயங்கும் P என்னும் ஒரு துகளைக் கவனிப்போம். P-யிலிருந்து CD என்னும் விட்டத்தில் PM என்னும் லம்பம் வரைவோம். P ஆனது வட்டத்தின் பரிதி வழியே சீராக இயங்கும் பொழுது, M ஆனது D-யி லிருந்து O-விற்கும், O-வி லிருந்து C-க்கும், பிறகு C-யிலிருந்து D-க்கும் நகரு கின்றது. M-ன் இந்த இயக் கம் சென்ற பகுதியில் கண்ட துகளின் இயக்கத் திற்கு ஒப்பாகும். எனவே, இதுவும் ஒத்திசை இயக்கந் தான். சீரான வேகத்துடன் வட்டமொன்றின் பரிதியின் வழியே ஓடும் ஒரு துகளிலிருந்து குறிப்பிட்ட விட்டத்தின் மேல் லம்பம் வரைந்தால், லம்பத்தின் பாதமும் இயங்கும். இவ் வியக்கத்தையும் ஒத்திசை இயக்கமெனலாம்.



படம் 7.

D-ல் ஆரம்பித்து, K-யை அடைவதற்கு t-விநாடிகள் ஆவ தாக வைத்துக்கொள்வோம். DOP என்ற கோணத்தை θ என்ற குறியால் குறிப்பிடுவோம்.

அப்பொழுது,

$$x = OM = OP. \cos\theta$$
$$= OA \cos\theta$$
$$= a\cos\theta$$

a என்பது (வட்டத்தின் ஆரம்) இயக்கத்தின் வீச்சாகும். ω-என்பது கோண வேகமானால் (angular velocity),

$$x = a\cos\omega t.$$

M நகர ஆரம்பித்து D-யிலிருந்து O வழியாக C-க்குச் சென்று திரும்பவும் D-க்கு வர ஆகும் நேரம் t-விநாடிகளாகும். P ஆனது

வட்டத்தைச் சுற்றி ஒரு முறை வருவதற்கும் t விநாடிகள்தான் ஆகும்.

ஆகவே, $\omega = \dfrac{2\pi}{T}$

அல்லது $T = \dfrac{2\pi}{\omega}$

P-யிலிருந்து AB-யின் மேல் PN என்ற லம்பம் வரைந்தால், N-ன் இயக்கமும் ஒத்திசையியக்கம்தான். அப்பொழுது

$$ON = y = a \sin \theta.$$
$$y = a \sin \omega t.$$

ஒத்திசை இயக்கம் ஒரே சமயத்தில் X-அச்சுத்திசையிலும், Y-அச்சுத் திசையிலும் நிகழ்கின்றது. ஆகையால், ஒரு வட்ட இயக்கத்தைச் செங்குத்தான திசைகளில் இரண்டு ஒத்திசை இயக்கங்களாகப் பிரிக்கலாம்; இந்த இரண்டு இயக்கங்களின் அதிர்வு நேரம், வீச்சு எல்லாம் சமமாக இருக்கும்.

(b) சீரிசை இயக்கத்தின் துடி நிலை (Phase of S.H.M.): ஒத்திசை இயக்கத்திலீடுபட்டுள்ள ஒரு புள்ளியின் துடி நிலை (phase), அந்தப் புள்ளி தனது சலனத்தில் எந்த நிலையிலிருக்கின்றதென் பதை விளக்குகின்றது. துடிக்கும் நிலை OP என்ற ஆரம் அமைத் துள்ள DOP என்ற கோணத்தினுல் குறிக்கலாம்.

$$\therefore \quad y = a \sin \theta$$

துடிக்கும் நிலை θ என்ற கோணத்தால் அளக்கப்படுகிறது. ஆகை யால், P என்னும் புள்ளி B, A, C, B என்ற இடங்களிலிருக்கும் பொழுது, ஒத்திசை இயக்கத்தின் துடிக்கும் நிலை முறையே $0, \frac{\pi}{2}, \pi, \frac{3\pi}{2}$ என்ற கோணங்களால் அளக்கப்படுகிறது. வட்டத் தைச் சுற்றி வரும் புள்ளி, ஒத்திசை இயக்கத்திலீடுபட்டுள்ள புள்ளி ஆகிய இரண்டுமே ஒவ்வொரு சமயத்திலும் எந்த இடங் களில் உள்ளன. எத் திசைகளில் இயங்குகின்றனவென்பதைத் துடிக்கும் நிலை விளக்குகிறது.

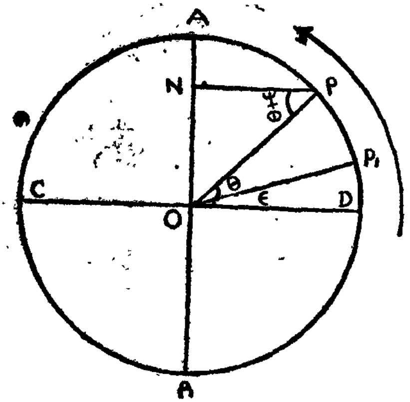
துடிக்கும் நிலையை, அதிர்வு நேரத்தின் ஒரு பாகமாகவும் குறிப்பிடலாம். T விநாடிகளில் P-யின் ஆரமாகிய OP, 2π ரேடியன் கோணத்தைக் கடப்பதால், இயக்க ஆரம்பத்திலிருந்து t விநாடி கள் கழித்து, துடிக்கும் நிலையை

$$\theta = \frac{2\pi}{T} t$$

$$= 2\pi \frac{t}{T} \text{ குறிக்கும்.}$$

D, A, C, B என்ற இடங்களிலிருக்கும்பொழுது, துடிக்கும் துகளின் நிலைகள் $O, \frac{\pi}{2}, \pi, \frac{3\pi}{2}$ என்றும், $O, \frac{T}{4}, \frac{T}{2}, \frac{3T}{4}$ என்றும் பொருள்படும்.

(c) இரண்டு ஒத்திசை இயக்கங்களின் துடிக்கும் நிலை வேறுபாடு: இயங்கும் துகள் D என்னும் இடத்திலிருந்து புறப்படுவதற்குப் பதிலாக, P_1 என்னும் இடத்திலிருந்து கிளம்புவதாகக் கொள்வோம். BOP_1 கோணத்தை E என்று வைத்துக் கொள்வோம். t-விநாடிகளில், துகள் P என்னும் இடத்தை அடையலாம் ($P_1OP = \theta$). இப்பொழுது

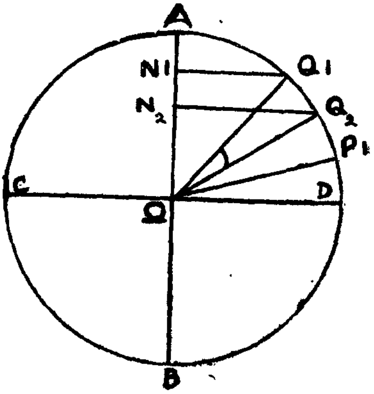


படம் 8.

$$ON = a \sin DOP$$
$$= a \sin OPN$$
$$\text{i.e.} \quad y = a \sin (\theta + \epsilon)$$
$$= a \sin (\omega t + \epsilon)$$

ஆரம்பத்தில், $t = O$ ஆக இருக்கும்பொழுது, N-ன் துடிப்பு நிலை ϵ. இவ்வாரம்பத் துடிப்பு நிலைக்கு, 'இபாக்' (epoch) என்று பெயர்.

எக் கணத்திலாவது இரண்டு ஒத்திசை யியக்கங்கள் வெவ்வேறு துடிப்பு நிலைகளிலிருந்தால், அவற்றுக்குள் துடிப்பு நிலை வேறுபாடு உண்டென்று கூறப்படும்.



படம் 9.

ஒரே வட்டத்தின் பரிதி வழியே ஒரே திசையில் ஒரே வேகத்துடன் ஊர்ந்து செல்லும் Q_1, Q_2 என்ற இரண்டு புள்ளிகள் B என்னும் புள்ளியை ஒன்றன்பின் ஒன்றாகத் தாண்டிச் செல்லுமானால், அவை இரண்டு ஒத்திசை இயக்கங்களுக்குள்ளாகும்; இவற்றிற்கிடையே மாறாத துடிப்புநிலை வேறுபாடு இருக்கும். இரண்டாவது புள்ளி P_1 என்னும் புள்ளியைத் தாண்டும்போது, முதற் புள்ளி B என்னும் புள்ளியைத் தாண்டுமாயின், இரண்டு இயக்கங்களுக்குமுள்ள துடிப்புநிலை வேறுபாடு ϵ ஆகும். இவ்விரண்டு இயக்கங்களின் சமன்பாடுகளைப் பின்வருமாறு எழுதலாம்:

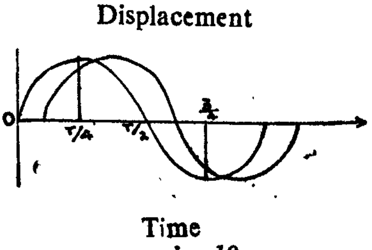
$$y_1 = a \sin(\omega t + \epsilon)$$
$$y_2 = a \sin \omega t.$$

முதலியக்கம் இரண்டாவதைவிடத் துடிப்பு முன்னிலையிலுள்ளதென்றே அல்லது இரண்டாவதியக்கம் முதலியக்கத்தைவிடப் பின்னிலையிலுள்ளதென்றே கூறலாம். ஆகவே, இவ்வியக்கங்களைப் பின்வரும் சமன்பாடுகளாலும் குறிக்கலாம்:

$$y_1 = a \sin \omega t$$
$$y_2 = a \sin(\omega t - \epsilon).$$

ஒத்திசை இயக்கத்தை, காலத்தை X-திசையிலும், இடப்பெயர்ச்சியை Y-திசையிலும் குறித்து, ஒரு வளைகோட்டின்மூலம் விவரிக்கலாம். ஆரம்பத்திலிருந்து $\frac{T}{4}, \frac{3}{4}T$ நேரங்கள் கழித்து முறையே மிகைத் திசையிலும் (positive), குறைத்திசையிலும் (negative) பெரும இடப்பெயர்ச்சிகள் ஏற்படுகின்றன.

சற்றுத் துடிப்புநிலை வேறுபாடுள்ள, அதேமாதிரியான மற்றொரு ஒத்திசையியக்கத்தின் வளைகோட்டை வரைந்தால், அதுவும் முதல் வளைகோட்டைப் போலவேதான் இருக்கும்; சற்றுத் தள்ளியிருக்கும். இரண்டாவது இயக்கத்தின் பெரும இடப்பெயர்ச்சி முதலியக்கத்தின் பெரும இடப்பெயர்ச்சியை விடச் சற்று நேரங்கழித்து நிகழும். இரண்டுக்குமே அதிர்வு நேரம் ஒன்றாக இருந்தபோதிலும், சற்றுக் காலபேதம் உண்டு. இக் காலபேதம் $(t_1 - t)$ விநாடிகளானால், துடிப்புநிலை பேதம்

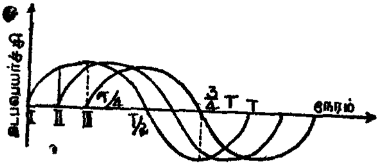


படம் 10.

$$\epsilon = \frac{2\pi}{T}(t_1 - t)$$

(d) ஒலி பரவுதல் (Sound propagation): ஒலியைப் பரப்பும் இடைநிலைப் பொருளின் துகள்கள் தொடர்ந்து துடித்துக் கொண்டேயிருக்கின்றன. துடிக்கும் பொருள்கள் எல்லாமே ஒத்திசையியக்கங்களில் ஈடுபட்டுள்ளன. ஒவ்வொரு கணத்திலும் எல்லாத் துகள்களும் ஒரே அதிர்வு நேரத்துடன் துடிக்கின்றன. ஆனால், வெவ்வேறு துடிப்பு நிலையிலுள்ளன.

ஒரு நேர்கோட்டிலுள்ள மூன்று அடுத்தடுத்த துகள்களைக் கவனிப்போம். ஒவ்வொன்றிற்கும் கால இடப்பெயர்ப்பு வளைகோடு வரைவோம். பரிசோதனையை ஆரம்பிக்கும்பொழுது முதல் துகள் ஆரம்பத் துடிப்பு நிலையில் இருப்பதாகக் கொள்வோம். அதாவது, அது மையநிலையை தன்திசையை நோக்கித் தாண்டுகிறது. ஆகவே, அப்பொழுது முதல் துகளுக்கு இடப்பெயர்ச்சி கிடையாது. இரண்டாவது துகளுக்கும் முதற்துகக்குளும் துடிப்புநிலை வேறுபாடு இருப்பதால், இரண்டாவது துகள் மைய நிலையைச் சற்று நேரங்கழித்துத்தான் தாண்டும். இதற்குள் முதல் துகளுக்குச் சிறிது இடப்பெயர்ச்சி ஏற்பட்டிருக்கும். இவ் விடப் பெயர்ச்சி, இரண்டு வளைகோடுகளுக்கு மிடையேயுள்ள செங்குத்துத் தூரத்திற்குச் சமம். முதல் துகள் பெரும இடப்பெயர்ச்சியைப் பெறும்போது இரண்டாவது துகளின் இடப்பெயர்ச்சி பெரும மதிப்பைவிடச் சற்றுக் குறைவாக இருக்கும்; ஆனால், சிறிது நேரத்தில் உச்ச நிலையை எய்தும். இக் குறுகிய



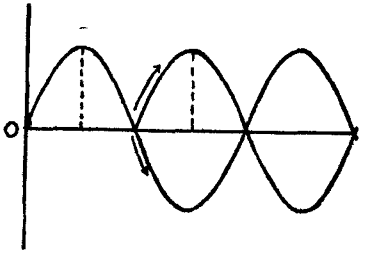
படம் 11.

நேரத்தில் பெரும இடப்பெயர்ச்சியின் நிலைமை முதற்றுகளிலிருந்து இரண்டாவது துகளுக்கு நகர்ந்து விட்டதைப்போல் தோன்றும். காலம் செல்லச் செல்ல, அடுத்தடுத்த துகள்கள் தங்களது பெரும இடப்பெயர்ச்சி நிலையை அடுத்தடுத்துப் பெறும்; பெரும இடப்பெயர்ச்சி நிலையும் முன்னேறிச் செல்கின்றது. இதுதான் ஒலிபரவுதல் என்று கூறப்படும். ஒரு துகளாவது ஒலியுடன் நகருவதில்லையென்றும், அது தனது மைய நிலையிலிருந்து கொண்டே இப்படியும் அப்படியும் துடித்துக்கொண்டு, தனது துடிப்பை அடுத்த துகளுக்கு அளிக்கிறதென்றும் விளங்கும்.

முதற்றுகள் தனது பெரும இடப்பெயர்ச்சியையடைந்த T/4-விநாடிகள் கழித்து மூன்ருவது துகள் தனது பெரும இடப் பெயர்ச்சி நிலையை அடைகின்றது. முதற்றுகளிலிருந்து மூன்ரு வது துகளுக்கு நகர ஒலிக்கு T/4 விநாடிகள் ஆகின்றன.

முதற்றுகள் தனது பெரும இடப்பெயர்ச்சி நிலையையடைந்து T/2 விநாடிகள் கழித்து, மற்ருெரு துகள் அந்த நிலையை அடையு மாஞல், இவ்விரண்டு துகள்களுக்கிடையேயுள்ள துடிப்புநிலை வேறுபாடு, π ஆகும். இரண்டு துகள்களும் எதிர்த்திசை துடிப்பு நிலையிலுள்ளதாகக் கருதப்படும். எப்பொழுதெல்லாம் முதற்றுகள் தனத் திசையில் (positive direction) மைய நிலையைத்தாண்டுமோ அப்பொழுதெல்லாம் மற்ருெரு துகள் அதே நிலையை ரிணத் திசையில் (negative direction) தாண்டும்.

முதற்றுகள் பெரும இடப்பெயர்ச்சி நிலையையடைந்த Tவிநாடி களில் எந்தத் துகள் தனது பெரும இடப்பெயர்ச்சி நிலையை யடைந்தாலும், அது முதற்றுகள்போலவே இயங்கும். அப்படிப் பட்ட இரண்டு துகள்களுக்கிடையேயுள்ள துடிப்புநிலை வேறு பாடு 2π. அல்லது இரண்டு துகள்களும் ஒரே துடிப்பு நிலையில் உள்ளதாகவும் கருதப்படும். இவ்விரண்டு துகள்களும் ஒரே சம யத்தில் ஒரே திசையில் மைய நிலையைத் தாண்டும். சரியாக ஒரே



படம் 12.

துடிப்பு நிலையிலுள்ள, அடுத்தடுத்த இரண்டு துகள்களுக்கிடையே யுள்ள தூரத்திற்கு 'அலை நீளம்' (λ) என்று பெயர். இந்தத் தூரத்தைக் கடக்க ஒலிக்கு T விநாடிகள் ஆகின்றதென்பதையும் கவனிப்போம். ஆகவே, ஒலி வேகம்,

$$v = \frac{\text{அலை நீளம்}}{\text{எடுக்கும் நேரம்}} = \frac{\lambda}{T}$$

$$\therefore \quad v = n\lambda.$$

T விநாடிகள் இடைநேரத்தில், ஒரே திசையில் பெரும இடப் பெயர்ச்சியடையும் இரண்டு துகள்கள் ஒரே துடிப்பு நிலை

யிலுள்ளன. அல்லது அவற்றிற்கிடையேயுள்ள துடிப்புநிலை வேறுபாடு 2π. ஆகவே, 2π துடிப்புநிலை வேறுபாடுள்ள இரண்டு துகள்களுக்கிடையேயுள்ள தூரம் $= \lambda$. துடிப்புநிலை வேறுபாட்டை அலைநீளத்தினெரு பாகமாகவும் குறிக்கலாம். x-தூரத்திலுள்ள இரண்டு துகள்களுக்கிடையேயுள்ள துடிப்புநிலை வேறுபாடு ϵ ஆனால்,

$$\epsilon = \frac{2\pi}{\lambda} x$$

6. ஒலி பரப்பின் சமன்பாடுகள் (Equation for Sound Propagation)

பொதுவாக ஒலி எந்த இடைப் பொருளில் செல்லுகின்றதோ, அந்த இடைப்பொருளிலுள்ள துகள்களின் ஒத்திசை இயக்கத்தைக் கீழே காணும் சமன்பாட்டினால் குறிக்கலாம்.

$$y = a \sin (\omega t - \epsilon)$$

$$\text{ஆனால், } \omega = \frac{2\pi}{T},$$

$$\epsilon = \frac{2\pi}{\lambda} x_0$$

$$\therefore\ y = a \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$$

$$= a \sin \frac{2\pi}{T} \left(t - \frac{x}{\lambda} T \right)$$

$$= a \sin 2\pi n \left(t - \frac{x}{v} \right)$$

v என்பது, ஒலியின் வேகமாகும்.

அதே வேகத்துடனும், அதே அதிர்வெண்ணுடனும் எதிர்த் திசையில் பரவும் ஒலியின் சமன்பாடு பின்வருமாறு.

$$y = a \sin 2\pi n \left(t + \frac{x}{v} \right)$$

7. முன்னேறும் அலைகள் (Progressive waves)

இயக்கப்பட்ட இடைநிலைப் பொருளிலுள்ள ஒவ்வொரு துகளும் நிலையான புள்ளியொன்றை மையமாகக் கொண்டு துடிக்குமேயொழிய, அலையினால் அடித்துக் கொண்டு போகப்படுவதில்லையென்பதை முன்பே கண்டோம். ஒவ்வொரு பொருளும் பெரும இடப்பெயர்ச்சி நிலையை அடைந்த சிறிது நேரத்திற்குப் பிறகே அடுத்த துகள் அந்நிலையை அடைகின்றது. ஆனால், அவற்றின் வீச்சுகள் (amplitudes) சமமாகவேயிருக்கும். பொது

வாக இந்த அலைகள் ஒடுக்கப்படுவதில்லை. இவ்வாறு ஒடுக்கப் படாமலும் தடுக்கப்படாமலும் நகரும் அலைகளுக்கு, 'முன்னேறும் அலைகள்' என்று பெயர். அவற்றின் குணங்கள் பின்வருமாறு:

(i) முன்னேறும் அலைகள் பாயும் இடைநிலைப் பொருளி லுள்ள துகள்கள், தங்களது அசையா நிலைப்புள்ளிகளை மையமாக வைத்து, இப்படியும் அப்படியும் அதிரும். ஒலி பரவும் திசைக்குச் செங்குத்தான திசையில் துகள்கள் துடித்தால், எழும் அலைகளுக்குக் குறுக்கலைகள் (transverse waves) என்று பெயர்; அதே திசை யில் துடித்தால், அவ் அலைகளுக்கு நெட்டலைகள் (longitudinal waves) என்று பெயர்.

(ii) துகள்கள் ஒத்திசையியக்கத்தில் ஈடுபடுகின்றன. $y=a\sin(\omega t-\epsilon)$ என்னும் சமன்பாட்டில், t-யின் மதிப்பு பூஜ்ஜியத்தி லிருந்து T-க்கும் அதற்கு மேலும் அதிகரிக்கும்போது, y-யின் மதிப்பு ஒத்திசையாக மாறுகின்றது.

$t = 0$ ஆக இருக்கும்போது,

$$y = a\sin(0-t)$$
$$= -a\sin\epsilon.$$

$t = T/2$ ஆக இருக்கும்போது,

$$y = a\sin(\pi - t)$$
$$= a\sin\epsilon.$$

$t = T$ ஆக இருக்கும்போது

$$y = a\sin(2\pi-\epsilon)$$
$$= -a\sin\epsilon.$$

ஆகவே, ஓர் அதிர்வு நேரத்தில், y-யின் மதிப்பு $-a\sin\epsilon$-லிருந்து $+a\sin\epsilon$-க்கு மாறுகிறது. இதிலிருந்து துகளினியக்கம் ஒத்திசை யாக உள்ளதென்று புலப்படுகின்றது.

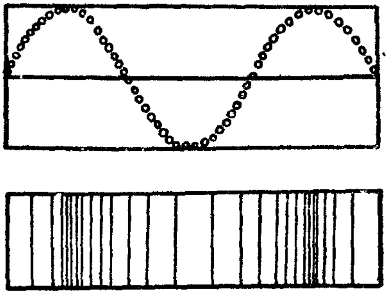
(iii) ஒவ்வொரு கணத்திலும் துகள்களின் அமைப்பு ஒரு sine வளைவைப்போல் தோன்றுகிறது.

$$y = a\sin 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right).$$

இச் சமன்பாட்டில், t-யை மாறாமல் வைத்துக்கொண்டு, x-க்கு பூஜ்ஜியத்திலிருந்து λ-வுக்கும், அதற்கு மேலும் வெவ்வேறு மதிப்புகளைக் கொடுத்தால், y-ன் மதிப்பு

$a\sin\frac{2\pi t}{T}$-யிலிருந்து $-a\sin\frac{2\pi t}{T}$-க்கு மாறுகின்றது. முன் னேறும் குறுக்கலைகளில், ஒவ்வொரு கணமும் துகள்களின் அமைப்பு முகடுகளாகவும் (crest), அகடுகளாகவும் (trough) தோற்ற

மளிக்கும். நெட்டலைகளில் அது, அடர்த்திகளாகவும் (condensations), தளர்த்திகளாகவும் (rarefaction) தோற்றமளிக்கும்.



படம் 13.

(iv) x-மாறுமலிருக்கும் எந்தக் குறிப்பிட்ட துகளுக்கும், ஒவ்வொரு T விநாடிகள் இடைவெளிக்கும் மதிப்பிலும் திசையிலும் இடப்பெயர்ச்சி ஒன்றுகவேயிருக்கும்.

$$= a \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)$$

T-விநாடிகள் கழித்து,

$$y_1 = a \sin 2\pi \left(\frac{t+T}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)$$

$$= a \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)$$

$$= y.$$

எனவே, இயக்கப்பட்ட ஊடகப் பொருளிலுள்ள துகளொன்று, அடுத்தடுத்து ஒரே திசையில் ஒரு புள்ளியை இருமுறைகள் தாண்டும் இடைவெளி நேரத்திற்கு, 'அதிர்வு நேரம்' என்று வரையறுக்கலாம்.

(v) இயக்கப்பட்ட ஊடகப் பொருளில் ஓர் அலை நீள இடைவெளியால் பிரிக்கப்பட்ட இரண்டு துகள்களின் இடப்பெயர்ச்சிகளும் ஒவ்வொரு கணமும், மதிப்பிலும், திசையிலும் சமம்.

ஒரு துகளுக்கு, $y = a \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)$

ஓர் அலை நீளத் தூரத்திற்கப்பாலுள்ள மற்றொரு துகளின் இடப்பெயர்ச்சி,

$$y_1 = a \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x+\lambda}{\lambda}\right)$$

$$= a \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)$$

$$= y.$$

எனவே, ஒரு கணத்தில் ஒரே துடிப்பு நிலையிலுள்ள இரண்டு துகள்களுக்கிடையேயுள்ள தூரம் ஓர் அலை நீளத்திற்குச் சமம் என்று வரையறுக்கலாம்.

(vi) இடைவெளிப் பொருளிலுள்ள துகள்களின் வேகம்

$$y = a \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)$$

$$\frac{dy}{dt} = + \frac{2\pi}{T} a \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right) \qquad \ldots\ldots(1)$$

குறிப்பிட்ட ஒரு கணத்தில், இடப்பெயர்ச்சி வளைகோட்டின் அமைப்பைக் கவனித்தால், அதன் சரிவு (slope),

$$\frac{dy}{dx} = - \frac{2\pi}{\lambda} a \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right) \qquad \ldots\ldots(2)$$

(1)-ஐ (2) ஆல்-வகுத்தால்,

$$\frac{\text{துகள்களின் வேகம்}}{\text{வளைகோட்டின் சாய்வு}} = -\frac{\lambda}{T} = -v \text{ (ஒலி வேகம்).}$$

(vii) இடைநிலைப் பொருளிலுள்ள துகள்களின் முடுக்கம் =

$$\frac{d^2y}{dt^2} = - \frac{4\pi^2}{T^2} a \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right) \qquad \ldots\ldots(3)$$

இடப்பெயர்ச்சி வளைகோட்டின் வளைவு

$$= \frac{d^2y}{dx^2}$$

$$= - \frac{4\pi^2}{\lambda^2} a \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right) \qquad \ldots\ldots(4$$

(3)-ஐ (4) ஆல் வகுத்தால்,

$$\frac{\text{துகள்களின் முடுக்கம்}}{\text{இடப்பெயர்ச்சி வளைகோட்டின் வளைவு}} = \frac{\lambda^2}{T^2}$$

= ஒலிவேகத்தின் இருமடி.

(viii) இயக்கப்பட்ட ஊடகப் பொருளின் ஆற்றல் : ஒலியைக் கடத்தும் ஊடகப் பொருளுக்கு மீள்திறனும் (elasticity) அடர்த்தியும் உண்டு. ஆகவே, ஒலி அலைகள் முன்னேறுவதால், அதற்கேற்படும் ஆற்றல் ஒரு பகுதி நிலை ஆற்றலாகவும் (potential), மறுபகுதி—இயக்க (kinetic) ஆற்றலாகவும் இருத்தல் வேண்டும். காலம் மாறும்பொழுது ஒன்று மற்றொன்றாக மாறுபடுகிறது. ஒரு பெண்டுலம் ஆடும்பொழுது, அது ஒரு பக்கம் கடைசியிலிருக்கும்பொழுது அதன் ஆற்றலெல்லாம் நிலை ஆற்றல் தான்; மைய நிலையை அடையும்பொழுது ஆற்றலெல்லாம் இயக்க ஆற்றலாக மாறிவிடுகிறது. மற்ற இடங்களில் இருக்கும் போதெல்லாம், ஒரு பகுதி நிலையாற்றலாகவும், மறுபகுதி இயக்க ஆற்றலாகவும் இருக்கும். ஆனால், இவற்றின் கூடுதல், எக் கணத்திலும் ஒரே மதிப்புடையதாகத்தான் இருக்கும் ; கூடுதல் ஆற்றலின் மதிப்பு, ஆற்றல் முழுதும் நிலை ஆற்றலாகவோ அல்லது முழுதும் இயக்க ஆற்றலாகவோ இருக்கும்பொழுதுள்ள மதிப்புக்குச் சமமாக இருக்கும்.

இயக்கப்பட்ட ஊடகப் பொருளில் ஒரு சதுர சென்டிமீட்டர் பரப்பும், δx சென்டிமீட்டர் நீளமுமுள்ள ஓர் உருளையை ஒலி பரவும் திசையில் கற்பனை செய்து கொள்வோம். ஊடகப் பொருளின் அடர்த்தி ρ ஆக இருக்கட்டும். அப்பொழுது, உருளையிலடங்கிய துகள்களின் எடை $\rho . \delta x$ ஆகும்.

$$\left.\begin{array}{r}\text{உருளையிலுள்ள துகள்களின்}\\ \text{இயக்க ஆற்றல்}\end{array}\right\} = \tfrac{1}{2}.\ \rho .\ \delta x.\ \left(\frac{dy}{dt}\right)^2$$

$$= \tfrac{1}{2}\ \rho .\ \delta x.\ a^2\omega^2.\cos^2(\omega t-\epsilon)$$

நேரமாக நேரமாக, $\cos(\omega t-\epsilon)$-யும் அதிகரிக்கும். $\cos(\omega t-\epsilon)$-யின் மதிப்பு 1 ஆக வரும்பொழுது,

$$\text{இயக்க ஆற்றல்} = \tfrac{1}{2}.\ \rho a^2\omega^2.\ \delta x$$

ஒரு கன சென்டிமீட்டரிலுள்ள ஆற்றல் $= \frac{1}{2}\ \rho\ a^2\omega^2$.

ஓர் அலகு குறுக்கு வெட்டும், ஓர் அலை நீள (λ) நீளமும் உள்ள ஒரு கற்பனை உருளையிலுள்ள ஆற்றலின் மதிப்பு $\frac{1}{2}\rho a^2\omega^2\lambda$ ஆகும்.

ஒலி அலைகளுடனே ஆற்றலும் நகர்கிறதென்றால், T விநாடிகளில் ஓடும் ஆற்றல் $\frac{1}{2}\rho a^2\omega^2\lambda$-வுக்குச் சமமாகும். இடைநிலைப் பொருளின் ஓர் அலகு (unit) குறுக்குவெட்டின் (cross-section) வழியே ஒரு விநாடியில் ஓடும் ஆற்றலுக்கு ஆற்றலோட்டம்

(energy current) என்று பெயர். அந்த ஆற்றலோட்டத்தின் மதிப்பு $e_1 = \frac{1}{2} \rho a^2 \omega^2 . \frac{\lambda}{T}$

$$= \frac{1}{2} \rho a^2 \omega^2 \; C.$$

(ix) இடத்தாலும் (space), காலத்தாலும் (time) பாதிக்கப்படாமல் முன்னேறும் அலைகள் பரவுகின்றன. தூரமென்னவாலும் காலமென்னவானாலும், தூரத்தைக் காலத்தால் வகுத்து வருவதே ஒலியின் வேகமாகும்.

8. நிலையான அலைகள் (Stationary waves)

முன்னேறும் ஒலி அலைகள் ஏதாவது பொருளால் (obstacle) தடைபட்டுப் பிரதிபலிக்குமானால், முன்னும் பின்னும் ஓடும் அலைகள் ஒன்றோடொன்று பொருந்துகின்றன. அப்பொழுது ஊடகப் பொருளில் அசையாத அதிர்வுகள் ஏற்படுகின்றன; இவைதான் நிலையான அலைகளாகின்றன. எனவே, இரண்டு முன்னேறும் அலைகள், எதிர்த்திசைகளில் ஏற்பட்டு ஒன்றோடொன்று பொருந்துவதாலேற்படுவதுதான் நிலை அலையெனப்படும். நிலையான ஒலி அலையொன்றின் சமன்பாட்டை அமைக்க, எதிர்த்திசைகளில் ஓடும் இரண்டு முன்னேறுமலைகளின் சமன்பாடுகளை ஒன்று சேர்த்தால் போதுமானது.

$$y_1 = a \sin (\omega t - \epsilon)$$
$$y_2 = a \sin (\omega t - \epsilon)$$

இவற்றைக் கூட்டினால்,

$$y = y_1 + y_2$$
$$= a \sin (\omega t - \epsilon) + a \sin (\omega t - \epsilon)$$
$$= 2a \cos \epsilon . \sin \omega t$$
$$= 2\,a \cos \frac{\omega x}{C} . \sin \omega t$$

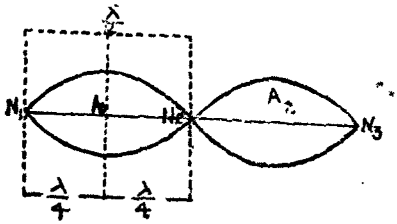
மேற்கண்ட சமன்பாடுகளிலிருந்து, நிலையான அலைகளின் குணங்களை நிர்ணயிக்கலாம்.

(i) நிலையான அலையின் வீச்சு (amplitude) $2a \cos \epsilon$ என்பதற்குச் சமம். இதில், ஆரம்பத்துடிப்பு நிலையாகிய ϵ இருக்கின்றது; ஆரம்பத்துடிப்பு நிலை துகளுக்குத் துகள் மாறுபடுகின்றது. ஆகவே, துகள்களின் வீச்சுகள் மாறுபடுகின்றன. சில முக்கியமான விதிவிலக்குகளைத் தவிர எல்லாத் துகள்களுமே ஒத்திசை இயக்கத்திலீடுபடுகின்றன. ஆனால், அவற்றின் வீச்சுகள் செல்லச்செல்லக் கூடியும் குறைந்துமிருக்கும். சில துகள்களுக்கு மாத்திரம் வீச்சு

பூஜ்ஜியமாகவிருக்கும். இவற்றிற்கிடையேயுள்ள தூரம் $\frac{\lambda}{2}$. இந்தத் துகள்கள் அசைவதேயில்லை. இவ்வசையாத துகள்களிலிருந்து $\frac{\lambda}{4}, \frac{3\lambda}{4}, \frac{5\lambda}{4}$ முதலிய தூரங்களிலுள்ள இதர துகள்களின் வீச்சுகள் பெரும மதிப்புடையனவாக இருக்கும். இவற்றின் மதிப்பு $2a$.

(ii) சமன்பாட்டில் ஒத்திசை இயக்கத்தைக் குறிக்கும் பகுதியாகிய $\sin \omega t$-ல், துடிப்புநிலை வேறுபாட்டிற்குரிய ϵ காணப்படவில்லை. ஆகையால், எல்லாத் துகள்களுமே ஒரே துடிப்பு நிலையில்தான் இருக்கும். அவை ஒரே சமயத்தில் தங்களது முழு இடப்பெயர்ச்சிக்கு உப்பும் அல்லது சமநிலை இடத்திற்குச் சுருங்கும்.

(iii) இரண்டு பக்கமும் இழுத்துப் பிடிக்கப்பட்ட கம்பியொன்றை ஆட்டிவிட்டால், பார்வை நீடிப்பின் (persistence of vision) தொடரான வளைகளும் (loops), துண்டுகளும் (ventral segments) புலப்படும். சில இடங்களில் (A-என்று குறிக்கப்



படம் 14.

பட்டுள்ளன) உள்ள துகள்கள் அதிகம் துடிக்கின்றன. இவற்றிற்கு எதிர்க்கணுக்கள் (anti-nodes) என்று பெயர். வேறு சில இடங்களில் (N என்று குறிக்கப்பட்டுள்ளன) உள்ள துகள்கள் துடிப்பதேயில்லை. இவற்றிற்குக் கணுக்கள் (nodes) என்று பெயர். அடுத்தடுத்துள்ள இரண்டு கணுக்களுக்குமிடையேயுள்ள தூரம் (அடுத்தடுத்துள்ள இரண்டு எதிர்க்கணுக்களுக்குமிடையேயுள்ள தூரமும்) அரை அலைநீளமாகும் ($\lambda/2$). ஒன்றுவிட்டு ஒன்றுள்ள கணுக்களுக்கிடையேயுள்ள தூரமும் அல்லது ஒன்று விட்டு ஒன்றுள்ள எதிர்க்கணுக்களுக்கிடையேயுள்ள தூரமும் முழு அலை நீளமாகும். ஒரு கணுவுக்கும் அதையடுத்துள்ள எதிர்க்கணுவிற்குமிடையேயுள்ள தூரம் கால் அலை நீளமாகும் ($\lambda/4$).

(iv) குறுக்கலைவு நிலை அலைகளில், அலையானது மாறுவதுமில்லை; நகர்வதுமில்லை. ஆனால், ஒரு நேர் கோட்டிற்குச் சுருங்கிப்

பிறகு விரிகின்றன. ஒவ்வொரு துகளும் ஒரு குறிப்பிட்ட வீச்சுடன் துடிக்கின்றது. எல்லா நிலை அச்சுகளும் (ordinates) திசை மாறுகின்றன; மீண்டும் ஒரு நேர் கோட்டிற்குச் சுருங்கி, இம் மாறுதல்கள் திரும்பத்திரும்ப நிகழ்கின்றன. நெட்டலைவு நிலை அலைகளில் கூட (longitudinal stationary waves) சில துகள்கள் அசைகின்றன; மற்றவை நிலையாக இருக்கின்றன. நகரும் துகள்கள் ஆற்றல் செல்லும் திசையிலேயே நகர்கின்றன. எதிர்க்கணுக்களிலுள்ள துகள்கள் துரிதமாக பெரும நிலைக்குத் துடிக்கின்றன. கணுக்களிலுள்ள துகள்கள் அசைவதேயில்லை. ஆனால், மற்ற துகள்கள் அவற்றைச் சுற்றிக் கூடிக் குறிப்பிட்ட நேரங்களில் பிரிகின்றன. அல்லது நெருக்கங்களும் தளர்த்திகளும் கணுக்களில்தான் நிகழ்கின்றன. எக்கணத்திலாவது N_1-ல் நெருக்கமாயிருந்தால், N_2-வில் தளர்த்திதான் இருக்கும்; அரை அதிர்வு நேரங்கழித்து N_1-ல் தளர்த்தியும், N_2-ல் நெருக்கமும் இருக்கும். ஆகவே, எதிர்க்கணுக்களெல்லாம் பெரும அசைவுள்ள இடங்கள்; கணுக்களெல்லாம் பெரும அழுத்த மாற்றமேற்படும் இடங்கள்.

(v) ஓர் அலை நீளத்தால் பிரிக்கப்பட்ட துகள்கள் எல்லாவற்றிற்கும் ஒரே வேகமும் ஒரே முடுக்கமும்தான் இருக்கும்.

(vi) துடிக்கும் எல்லாத் துகள்களுக்குமே அதிர்வு நேரம் ஒன்றுதான்.

(vii) ஊடகப் பொருளின் ஆற்றல் : இயக்கப்பட்ட ஊடகப் பொருளில் ஒரு சதுர செண்டிமீட்டர் குறுக்குப் பரப்பும், δx செண்டிமீட்டர் நீளமுமுள்ள ஓர் உருளையை ஒலி பரவும் திசையில் கற்பனை செய்துகொள்வோம். இவ்வுருளையினுள் இருக்கும் துகள்களின் இயக்க ஆற்றல்

$$= \tfrac{1}{2}\, mx\ (\text{துகள் வேகம்})^2$$

$$= \tfrac{1}{2}\, m \cdot \left(\frac{dy}{dt}\right)^2$$

$$= \tfrac{1}{2} \cdot \rho \cdot \delta x \cdot 4\, a^2 \omega^2 \cos^2 \frac{\omega x}{C} \cdot \cos^2 \omega t.$$

மொத்த ஆற்றல் பெரும இயக்க ஆற்றலுக்குச் சமம். ஆகவே,

மொத்த ஆற்றல் $= \tfrac{1}{2}\, \rho\, \delta x \cdot 4\, a^2 \omega^2 \cos^2 \frac{\omega x}{C}$. உருளையின் நீளம் ஓர் அலை நீளத்திற்குச் சமமாக இருக்குமானால்,

$$\text{மொத்த ஆற்றல்} = \int_0^{\lambda} \tfrac{1}{2}\, \rho\, \delta x\, 4 a^2 \omega^2 \cos^2 \frac{\omega x}{C}$$

$$= 2\rho\, a^2\omega^2 \int_0^{\lambda} \frac{1 + \cos^2 \frac{\omega x}{C}}{2}\, \delta x$$

$$= 2\rho\, a^2\omega^2 . \frac{\lambda}{2}$$

$$= \rho\, a^2\omega^2\, \lambda .$$

ஓர் அலைவேக நீளத்திற்குள்ள ஆற்றல்களை ஒப்பிடுவோமானல், நிலை அலைகளின் ஆற்றல் முன்னேறுமலைகளின் ஆற்றலில் இரண்டு பங்காகும். இதற்குக் காரணம் ஒரே ஆற்றலுடைய எதிர்த்திசையில் பரவும் இரண்டு முன்னேறும் அலைகளால் ஆனது ஒரு நிலை அலை. ஆனல், நிலை அலைகளில் அலை ஆற்றல் எந்தத் திசையிலும் முன்னேறுவதில்லை. நிலை அலையின் ஆற்றலோட்டம் (energy current), அதை உற்பத்தி செய்யும் எதிரெதிரே ஓடும் இரண்டு தொடர்அலைகளின் ஆற்றலோட்டங்களைக் கூட்டுவதாலேற்படும் தொகைக்குச் சமம். ஆனல், இந்த இரண்டு ஆற்றலோட்டங்களும் எதிர்த்திசைகளில் ஓடுவதால், நிலை அலையின் ஆற்றல் ஓட்டம் பூஜ்ஜியமாகும்.

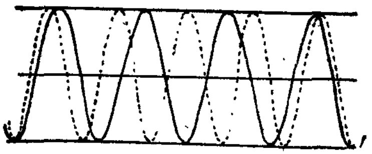
9. சீரிசை இயக்கங்களின் தொகுப்பு (Composition of two S.H.Ms.)

(a) அதிர்வெண்கள் கிட்டத்தட்ட சமமாக இருக்கும்பொழுது விம்மல்கள் (beats)

ஒரே இடைநிலைப் பொருளில், ஒரே திசையில் கிட்டத்தட்ட சம மதிப்புடைய இரண்டு ஒலி அலைகளைத் தொகுத்தால், அதனல் விளையும் ஒலியின் செறிவு (intensity) சீராக இருப்பதில்லை; ஆனல், ஓங்கியும் தாழ்ந்துமிருக்கும். அதாவது, ஒலிச் செறிவு அடுத்தடுத்து பெரும நிலைக்கு உயர்ந்து, பிறகு சிறும நிலைக்குத் தாழ்கிறது. இந்த நிகழ்ச்சிக்கு 'விம்மல்கள்' என்று பெயர். ஒரு விம்மலென்பது ஒலிச் செறிவு ஒரு பெரும நிலைக்கு உயர்வதும் அதற்கடுத்த சிறும நிலைக்குத் தாழ்வதுமாகும்.

மாறிக்கொண்டேயிருக்கும் சற்றே வேறுபாடுடைய அலை நீளங்களுடைய இரண்டு ஒலி அலைகள் ஒன்றோடொன்று பொருந்தும்பொழுது, 'விம்மல்கள்' எப்படி நிகழ்கின்றனவென்பதைக் கீழேயுள்ள வரைபடம் நன்கு விளக்கும்.

A என்று குறிக்கப்பட்டிருக்குமிடத்தில் இரண்டு அலைகளின் வீச்சுகளும் ஒன்றையொன்று வலுப்படுத்துகின்றன. ஆகையால்,



படம் 15

ஒலி பெரும நிலைக்கு ஏறுகிறது. B என்ற இடத்தில் அவை ஒன்றையொன்று அழித்துவிடுகின்றன. அதனால், ஒலி சிறும நிலைக்கு இறங்குகிறது; ஒலியும் கேட்பதில்லை. ஒரு விநாடியில் ஏற்படும் விம்மல்களின் எண்ணிக்கை, இரண்டு தாய் அலைகளின் அதிர்வெண் வித்தியாசத்திற்குச் சமம் என்று நிரூபிக்கலாம்.

இரண்டு அலைகளின் அதிர்வெண்களும் $\frac{m+n}{2\pi}$ என்றும் $\frac{m-n}{2\pi}$ என்றும் வைத்துக்கொள்வோம். (n என்பது ஒரு சிறிய முழு எண்.) எந்தக் கணத்திலும் இரண்டு ஒலிகளின் இடப்பெயர்ச்சிகளையும் கீழ்க்காணும் சமன்பாடுகளால் குறிக்கலாம்.

$$y_1 = a \sin (m+n)t$$
$$y_2 = b \sin (m-n)t$$

a-யும், b-யும் இரண்டு அலைகளின் வீச்சுகளாகும். இவையிரண்டையும் ஒன்றாகத் தொகுப்பதால், ஏற்படும் இடப்பெயர்ச்சியை y என்ற எழுத்தால் குறித்தால்,

$$\begin{aligned} y &= y_1 + y_2 \\ &= a \sin (m+n)t + b \sin (m-n)t \\ &= (a+b)\sin mt \cos nt + (a-b) \cos mt . \sin nt \quad \ldots (1) \end{aligned}$$

பொதுவாக இரண்டு ஒத்திசை இயக்கங்களை ஒன்றாகத் தொகுத்தால், அதனால் விளையும் இயக்கமும் ஒத்திசையாகத்தான் இருக்கும். ஆகவே, விளையும் இயக்கத்தின் வீச்சை A என்றும், அதன் அதிர்வெண்ணை $\frac{m}{2\pi}$ என்றும் வைத்துக்கொண்டால், மிகவும் பொதுவான சமன்பாட்டை,

$y = A \sin (mt+\phi)$ என்று எழுதலாம்.

$$\therefore\ y = A \cos \phi . \sin mt + A \sin \phi . \cos mt \quad \ldots (2)$$

ϕ என்பது துடிப்புநிலையாகும். சமன்பாடுகள் 1-லும், 2-லும்

sin mt, cos mt இவைகளின் சார்பெண்களைச் (coefficients) சமப் படுத்தி எழுதினால்,

$$A\cos\phi = a\cos nt + b\cos nt$$
$$A\sin\phi = a\sin nt + b\sin nt$$
$$\therefore\ A^2 = a^2+b^2+2ab\,(\cos^2 nt - \sin^2 nt)$$

ஆரம்பத்தில், அதாவது $t = 0$ ஆக இருக்கும்பொழுது,

$$A^2 = a^2+b^2+2ab$$
$$\therefore\ A = (a+b)$$

$\frac{2\pi}{2n}$ நேரங்கழித்து, அதாவது $t = \frac{2\pi}{n}$ ஆக இருக்கும்போது

$$A^2 = a^2+b^2-2ab$$
$$\therefore\ A = (a-b)$$

$\frac{4\pi}{2n}$ நேரங்கழித்து, அதாவது $t = \frac{4\pi}{2n}$ ஆக இருக்கும்போது

$$A^2 = a^2+b^2+2ab$$
$$\therefore\ A = (a+b).$$

இதிலிருந்து, வீச்சு $(a+b)$ என்ற மதிப்புக்கும் $(a-b)$ என்ற மதிப்புக்குமிடையே, குறிப்பிட்ட நேரத்திற்கு ஒருமுறை மாறிக் கொண்டிருக்கிறது என்று தெரிகிறது. ஒலிச்செறிவுகூட மாறுத லடைகின்றது. அதிர்வு நேரம் $= \frac{2\pi}{2n}$. ஆகையால், அதிர் வெண்ணின் மதிப்பு, அதாவது ஒரு விநாடிப் பொழுதில் கேட்கும் விம்மல்களின் எண்ணிக்கை $= \frac{2n}{2\pi}$.

$$\text{ஆனால்}\quad \frac{m+n}{2\pi} - \frac{m-n}{2\pi} = \frac{2n}{2\pi}$$

ஆகவே, ஒரு விநாடியில் கேட்கும் விம்மல்களின் எண்ணிக்கை தாய் அதிர்வெண்களுக்குள்ள வித்தியாசமாகும்.

மேலும்,

$$\frac{A\sin\phi}{A\cos\phi} = \frac{a\sin nt - b\sin nt}{a\cos nt + b\cos nt}$$

$$\therefore\ \tan\phi = \frac{(a-b)}{(a+b)}\tan nt$$

இதிலிருந்து ϕ-ன் மதிப்பு, t-ன் மதிப்பைச் சார்ந்திருக்கிற தென்பது விளங்குகின்றது. ஆகையால், $\phi = kt$ என்று எழுத லாம். ஆரம்பத் துடிப்பு நிலையே, இறுதி ஒலியின் அதிர்வெண்ணை மாற்றக்கூடிய வித்தையான நிலை இது.

$$y = A \sin (mt + kt)$$
$$= A \sin (m + k)t$$

இதனால் விளையும் அதிர்வெண்ணின் மதிப்பு $= \frac{m+k}{2\pi}$. இது சிறிய அதிர்வெண்ணைவிடப் பெரிய அதிர்வெண்ணாகிய $\frac{m+n}{2\pi}$ ஐ நெருங்கியுள்ளது.

ஒரே விதமான இரண்டு ஆர்கன் குழாய்களையும் (organ pipes), ஓர் அழுத்த வேறுபாட்டுச் சுடரையும் (manometric flame) வைத்துக்கொண்டு விம்மல்கள் எப்படி நிகழ்கின்றன வென்பதை ஒரு பெரிய கூட்டத்திற்குச் செய்து காட்டலாம். ஆர்கன் குழாய்கள் நெருக்கமாகவும் அவற்றின் வாய்கள் சுடரின் கொம்பின் பக்கம் பார்த்துக் கொண்டும் இருக்கும்படி அமைக்கப் படவேண்டும். இரண்டு குழாய்களையும் ஒரே காற்றுப் பெட்டியால் (wind chest)[1] இயக்க வேண்டும். ஒரு துண்டுக் காகிதத்தை ஒரு குழாயின் வாயருகில் வைத்து, ஒரு குழாயிலிருந்து எழும்பும் ஒலியின் அதிர்வெண் மற்றொன்றிலிருந்து வரும் ஒலியின் அதிர் வெண்ணிலிருந்து சற்று மாறுபட்டிருக்குமாறு செய்தல் வேண்டும். இப்பொழுது, 'விம்மல்கள்' எழும். இவற்றைப் பெரிய அரங்கில் கூடியிருக்கும் கூட்டங்கூட மிக எளிதாகக் கேட்கலாம். சுடரின் உயரத்தின் மாறுபாட்டிலிருந்தும் இவற்றைக் காணலாம். சுடருக்கு எரிபொருளாக அஸெட்டலீன் (acetylene) வாயுவை உப யோகப்படுத்தினால் செயல்முறை மிகத் தெளிவாக இருக்கும்.

(b) செங்குத்துத் திசைகளில் நிகழும் இரண்டு ஒத்திசை இயக்கங்களைத் தொகுத்தல்

(i) ஒரே அதிர்வெண்ணுடைய இயக்கங்கள்: செங்குத்தான திசைகளில் இயங்கும் இரண்டு ஒத்திசை இயக்கங்களை ஒரே சமயத்தில் ஒரு துகள்மீது பொருத்தினால், அதனால் விளையும் இயக்கம் பொதுவாக நீள் வட்டமாகவும் (elliptical), சில சமயங் களில் வட்டமாகவும் (circular), சில சமயங்களில் நேர்கோட்டிய லாகவும் (rectilinear) இருக்கும்.

ஓர் ஒத்திசை இயக்கம் X அச்சுத் திசையிலும், மற்றொன்று Y அச்சுத் திசையிலும் நிகழ்வதாக வைத்துக் கொள்வோம். அவற் றைப் பின்வரும் சமன்பாடுகளால் குறிப்பிடலாம்.

$$x = a \sin \omega t$$
$$y = b \sin (\omega t + \epsilon).$$

a, b என்பன இரண்டு இயக்கங்களின் வீச்சுகள்; $\frac{\omega}{2\pi}$ என்பது இரண்டு இயக்கங்களின் அதிர்வெண்கள்; ϵ-என்பது அவ்விரண்டுக்குமிடையேயுள்ள துடிப்புநிலை வேறுபாடு.

$$\frac{x}{a} = \sin \omega t$$

$$\frac{y}{b} = \sin (\omega t + \epsilon)$$
$$= \sin \omega t \cos \epsilon + \cos \omega t \sin \epsilon$$
$$= \frac{x}{a} \cos \epsilon + \left(\sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2}}\right) \sin \epsilon$$

$$\therefore \frac{y}{b} - \frac{x}{a} \cos \epsilon = \sin \epsilon \sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2}}$$

$$\frac{y^2}{b^2} + \frac{x^2}{a^2} \cos^2 \epsilon - \frac{2xy}{ab} \cos \epsilon = \sin^2 \epsilon \left(1 - \frac{x^2}{a^2}\right)$$

i e. $\frac{y^2}{b^2} + \frac{a^2}{x^2}(\cos^2 \epsilon + \sin^2 \epsilon) - \frac{2xy}{ab} \cos \epsilon = \sin^2 \epsilon$

(i) இரண்டு இயக்கங்களுக்கிடையே துடிப்புநிலை வேறுபாடு இல்லையென்றால், $\epsilon = 0$; $\sin \epsilon = 0$; $\cos \epsilon = 1$.

ஆகவே,

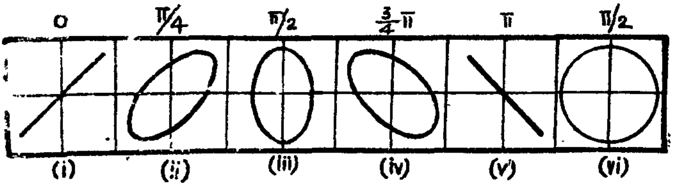
$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - 2\frac{xy}{ab} = 0$$

$$\left(\frac{x}{a} - \frac{y}{b}\right)^2 = 0$$

$$\frac{x}{a} - \frac{y}{b} = 0$$

$$y = \frac{b}{a} x$$

இது ஒரு நேர்கோட்டின் சமன்பாடு. வரைபடத்தின் சரிவு (slope) $= +\frac{b}{a}$. ஆகவே, இதனாலேற்படும் இயக்கம் நீள இயக்கமாகும் (rectilinear); இது முதற் கால்வட்டத்திலும் மூன்றாவது கால்வட்டத்திலுமாக நிகழ்கிறது.



படம் 16.

(ii) துடிப்புநிலை வேறுபாடு $\epsilon = \pi/4$. விளையும் இயக்கம் நீள் வட்டமானது (elliptical). இதன் அச்சுகள் படித்தர அச்சுகளி லிருந்து சாய்ந்திருக்கும்.

(iii) துடிப்புநிலை வேறுபாடு $\epsilon = \pi/2$, $\cos\epsilon = 0$, $\sin\epsilon = 1$.

ஆகவே,

$$\frac{x}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{2xy}{ab}\cos\epsilon \sin^2\epsilon$$

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1.$$

இப்பொழுது விளையும் இயக்கமும் நீள்வட்டமானதுதான். ஆனால், இதன் அச்சுகள் படித்தர அச்சுகளுடன் இணைந்திருக்கும்.

(iv) துடிப்புநிலை வேறுபாடு $\epsilon = \frac{3\pi}{4}$. இயக்கம் நீள்வட்ட மானது. அச்சுகள் படித்தர அச்சுகளிலிருந்து சாய்ந்திருக்கின்றன. ஆனால், இரண்டாவது நிகழ்ச்சிக்குச் செங்குத்தான நிலையி லுள்ளன.

(v) துடிப்புநிலை வேறுபாடு $\epsilon = \pi$.

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{2xy}{ab}\cos\pi = \sin^2\pi$$

$$\left(\frac{x}{a} + \frac{y}{b}\right)^2 = 0$$

$$y = -\frac{b}{a}x.$$

இப்பொழுது இயக்கம் நீளமானது. ஆனால், சரிவு எதிர்த்திசையி லிருக்கிறது. துடிப்பு இரண்டாவது கால்வட்டத்திலும் நான் காவது கால்வட்டத்திலும் நிகழ்கின்றது.

(vi) மூன்றுவது நிகழ்ச்சியில் துடிப்புநிலை வேறுபாடு $\epsilon = \frac{\pi}{2}$.

அத்துடன் இரண்டு வீச்சுகளும் சமமென்றால், i.e. $a = b$.

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$$

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{a^2} = 1$$

$$x^2 + y^2 = a^2$$

இது ஒரு வட்டத்தின் சமன்பாடாகும். அச்சுகளின் பிறப்பிடத்தை (origin) மையமாகவும், ஆரத்தின் மதிப்பை a ஆகவும் கொண்ட வட்டம்.

(vii) மற்றெல்லாத் துடிப்புநிலை வேறுபாடுகளுக்கும், இரண்டாவது நான்காவது நிகழ்ச்சிகளைப்போன்று விளைவு இயக்கம் சாய்வு நீள் வட்டங்களாகவிருக்கும்.

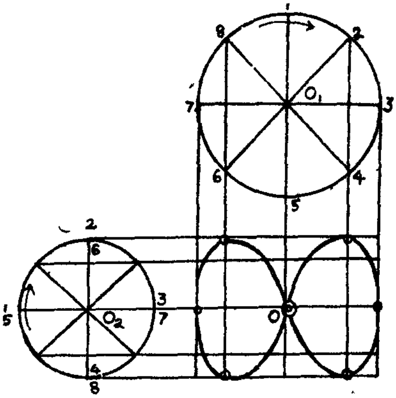
செங்குத்தான திசைகளில் ஊசலாடிக் கொண்டிருக்கும் ஒரே நீளமுள்ள இரண்டு ஊசல்களோடு இரண்டு துண்டுகளைக் கிடைமட்டமாக இணைத்து மேற்கண்ட கோடுகளை வரையலாம். இவ்விரண்டு துண்டுகளையும் ஒன்றாக இணைத்து இணைக்கப்பட்ட புள்ளியுடன் ஒரு புருசையும் இணைக்க வேண்டும். புருசுக்கு மசை தடவி ஒரு காகிதத்தின்மேல் நகர வைக்கவேண்டும். ஊசல்களை வெவ்வேறு நேரங்களில் ஆடவிட்டு, வேண்டிய துடிப்புநிலை வேறுபாட்டை நோக்கம்போல் உருவாக்கிக் கொள்ளலாம். புருசு காகிதத்தில் வரையும் கோடு துடிப்புநிலை வேறுபாட்டைப் பொறுத்திருக்கும்.

(ii) அதிர்வெண்கள் கிட்டத்தட்ட சமம்: தொகுக்கப்படும் இரண்டு ஒத்திசை இயக்கங்களின் அதிர்வெண்கள் சமமாக இல்லாமல் கிட்டத்தட்ட மாத்திரமே சமமாக இருந்தாலும், அவற்றின் துடிப்புநிலை வேறுபாடுகள் முன்னைப்போலவே மாறுகின்றன. எந்தக் கணத்திலும் வரையப்படும் கோடு அந்தச் சமயத்திலுள்ள துடிப்புநிலை வேறுபாட்டைப் பொறுத்திருக்கும். துடிப்புநிலை வேறுபாடு O-விலிருந்து π-க்கு மாறும்பொழுதும் நேர்கோடும் சாய்வு நீள்வட்டமாக மாறுகிறது. ஆனால், துடிப்புநிலை வேறுபாடு ஒன்றாக இருந்தால் (phase difference = 1), பழைய கோடுகளே திரும்பவும் வரையப்படுகின்றன.

(c) அதிர்வெண்கள் குறிப்பிட்ட விதத்திலிருத்தல் லிஸ்ஸாஜூஸ் படங்கள் (Lissajou's figures)

X அச்சுத் திசையிலும், Y அச்சுத் திசையிலும் இயங்கும் $1:2$ என்ற விகிதத்தில் அதிர்வெண்களையுடைய இரண்டு ஒத்திசை

இயக்கங்களைக் கவனிப்போம். இவ்விரண்டும் O என்ற ஒரு புள்ளியின்மீது ஏற்றப்படட்டும். X அச்சுத் திசையில் நிகழும் துடிப்புகளை உருவாக்கும் வட்டம் (generating circle) மேலேயிருப்பது. Y அச்சுத் திசையில் நிகழும் துடிப்புகளை உருவாக்கும் வட்டம்



படம் 17

கீழே இடது பக்கமாக இருக்கிறது. முதலில் குறிப்பிடப்பட்ட வட்டம் பரிதியின் வழியே 16 பாகங்களாகப் பிரிக்கப்பட்டுள்ளது. இரண்டாவது வட்டம் 8 பாகங்களாகப் பிரிக்கப்பட்டுள்ளது. p_1 துகள் P_1Q_1 என்னும் தூரத்தைக் கடக்கும் தூரமும், p_2 என்னும் துகள் P_2Q_2 என்னும் தூரத்தைக் கடக்கும் தூரமும் சமம். ஆகவே, p_2 என்னும் துகளின் அதிர்வெண் p_1 என்னும் துகளின் அதிர்வெண்ணைவிட இரண்டு மடங்கு பெரிது.

எந்தத் துகளின்மீது இந்த இரண்டு ஒத்திசை இயக்கங்களும் ஒரே சமயத்தில் ஏற்றப்படுகின்றனவோ, அந்தத் துகள் ஆரம்பத்தில் O என்னுமிடத்திலிருக்கிறது. பிறகு ஒவ்வொரு கணத்திலும் அதன் இடத்தை உருவாக்கும் வட்டங்களில் இரண்டு துகள்களும் எங்கே இருக்கின்றனவோ அங்கிருந்து இரண்டு அச்சுகளின் மீதும் செங்குத்துக் கோடுகள் வரைந்து கண்டுகொள்ளலாம். இரண்டு செங்குத்துக் கோடுகளும் சந்திக்குமிடம், துகளின் புது இடமாகும்.

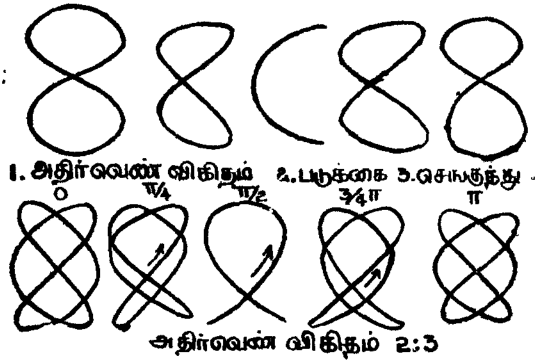
ஆரம்பத்தில் இரண்டு இயக்கங்களும் ஒரே துடிப்பு நிலையிலிருந்தால், P_1Q_1-ம் P_2Q_2-வும் சந்திக்குமிடம் O. P_1 முன்னோடியிருந்தால் O-கீழே தள்ளியோ அல்லது வலது புறத்திலோ இருக்கும்; P_1 பின் தங்கியிருந்தால், O இடது புறமாகவோ அல்லது மேலேறியோ இருக்கும்.

வரைபடத்தை வரையும் விதத்தைப் படம் (17)-லிருந்து புரிந்துகொள்ளலாம்.

இந்தப் படங்களுக்கு லிஸ்ஸாஜூ படங்கள் என்று பெயர். இரண்டு ஒலியெழுப்பும் பொருள்களுக்கிடையேயுள்ள அதிர்வெண் விகிதத்தைச் சரியாகக் கணக்கிட இவை பயன்படுத்தப் படுகின்றன. இரண்டு சிறிய கண்ணாடித் துண்டுகளை, செங்குத்தான திசைகளில் இயங்கும் இரண்டு பொருள்களின் மீது பொருத்தி, ஓர் ஒளிக்கதிரை அந்தக் கண்ணாடிகளின் மீது அடுத்தடுத்து எதிரொளிக்கச்செய்து, இறுதியாக அக் கதிரை ஒரு திரையின் மீது குவியச்செய்து, லிஸ்ஸாஜூ படங்கள் அமைவதைச் செய்து காட்டலாம்.

அதிர்வு நேரத்தின் விகிதம்—மட்டம் : செங்குத்து : : 1:2

அதிர்வு நேரத்தின் விகிதம்—மட்டம் : செங்குத்து : : 2:3



படம் 18

எதிர் மின்கதிர் ஆசிலகிராஃபில், இரண்டு அதிரும் பொருள்களால் கட்டுப்படுத்தப்பட்டு, செங்குத்தான திசைகளில் மாறுபட்டியலும் இரண்டு மின்புலங்களுக்கு (electrical fields) ஓர் எலெக்ட்ரான் கற்றை உள்ளாக்கப்படுகிறது; பிறகு அந்த எலெக்ட்ரான் கற்றையை ஓர் ஒளிரும் திரையில் (flourescent screen) வாங்கினால், இரு அதிர்வுகளால் விளையும் இயக்கத்தின் இயல்பு, ஒளிர் திரைப்படத்தின் மூலம் புலப்படும். கோடுகளின் அமைப்பிலிருந்து இரண்டு ஒத்திசை இயக்கங்களின் அதிர்வெண் விகிதத்தை நிலைநாட்டலாம்.

(d) அதிர்வெண் குறிப்பிட்ட விகிதத்தில் கிட்டத்தட்டவேயிருந்தால்

அதிர்வெண்கள் குறிப்பிட்ட விகிதத்திலில்லாமல், குறிப்பிட்ட விகிதத்திற்குக் கிட்டத்தட்ட மாத்திரம் இருக்குமானுல், இறுதியில் விளையும் இயக்கத்தின் லிஸ்ஸாஜூஸ் படம், எந்த விகிதத்திற்குக் கிட்டத்தட்ட இருக்கின்றதோ அந்த விகிதத்தின் லிஸ்ஸாஜூஸ் படத்தை ஒட்டியிருக்கும். உதாரணமாக, இரண்டு அதிர்வெண்கள் கிட்டத்தட்ட 1:2 என்ற விகிதத்தில் இருப்பதாக வைத்துக் கொள்வோம். அவையிரண்டிற்கும் ஆரம்பத்தில் துடிப்புநிலை வேறுபாடு இல்லையென்ருல், இறுதி இயக்கம்வரையும் லிஸ்ஸாஜூஸ் படம் கிட்டத்தட்ட எட்டு என்ற எண்ணைப்போல் (figure of 8) இருக்கும் ஆனுல், நேரம் ஆக ஆகத் துடிப்புநிலை வேறுபாடு ஏற்பட்டு, அந்த வேறுபாடு மாறிக்கொண்டே போகும். ஆகவே, 1 : 2 என்ற விகிதத்திற்குள்ள ஆறு (படம்-16) லிஸ்ஸாஜூஸ் படங்களுமே அடுத்தடுத்து வரையப்பட்டுவிடும். இதற்கு ஆகும் நேரத்திற்குள், துடிப்புநிலை வேறுபாடு ஒரு முழுச்சுற்று வந்துவிடும். அதாவது துடிப்புநிலை வேறுபாடு பூஜ்ஜியத்திலிருந்து, 2π என்னும் மதிப்பை அடைந்துவிடும். மேலும் ஓர் உதாரணத்தைக் கவனிப்போம் இயக்கங்களின் இரண்டு அதிர்வெண்களும் 128·01, 256 ஆக இருக்கட்டும். இவற்றின் விகிதம் 1:2 என்பதிலிருந்து சற்று மாறுபட்டிருக்கிறது. 100 விநாடிகளில் முதலியக்கம் 12,801 முறை துடிக்கும்; இரண்டாவது 25,600 முறை துடிக்கும். முதலியக்கம் 12,800 முறை இயங்கினுல் விகிதம் 1:2-க்குச் சமமாக இருக்கும். ஆனுல், அது 12,801 முறை இயங்குவதால் 1:2 என்ற விகிதத்திற்கு எத்தனை முறை இயங்கவேண்டுமோ அதற்கு ஒரு முறை அதிகமாக, அதாவது, 12,801 முறை இயங்குகிறது. ஆகவே, 100 விநாடிகளில் ஒரு தொகுதி (set) படங்கள் வரையப்பட்டுவிடும். இப்பொழுது முதலியக்கத்தின் அதிர்வெண்ணிலிருந்து $\frac{1}{100}$ அல்லது ·01 ஐக் கழித்தால், 1:2 என்ற விகிதம் கிடைக்குமென்பதை அறிகிறேம். இது போலவே ஒரு தொகுதி படங்கள் t-விநாடிகளில் வரையப்பட்டால், $\frac{1}{t}$ என்ற பின்னத்தை முதலியக்கத்தின் அதிர்வெண்ணிலிருந்து கூட்டியோ அல்லது கழித்தோ நெருக்கத்திலுள்ள விகிதத்தைப் பெறலாமென்பது எளிதில் விளங்கும். எனவே, அதிர்வெண்கள் குறிப்பிட்ட விகிதத்திலில்லாவிட்டாலும், கிட்டத்தட்ட குறிப்பிட்ட விகிதத்திற்குச் சமீபத்திலிருந்துவிட்டால், அவற்ருல் விளையும் லிஸ்ஸாஜூஸ் படங்களிலிருந்து, அவற்றின் சரியான அதிர்வெண் விகிதத்தைக் கணக்கிட்டுவிடலாம்.

10. தடையுறு அலைவுகள் (Damped Oscillations)

தடையுறாத முன்னேறு அலைகளின் இடப்பெயர்ச்சி

$$y = a \sin \omega t$$

அலைபுகுந்தோடும் இடைநிலைப் பொருளின் துகளின் வேகம்

$$\frac{dy}{dt} = a\,\omega \cos \omega t$$

துகளின் முடுக்கம்

$$\frac{d^2y}{dt^2} = -a\,\omega^2 \sin \omega t$$
$$= -\omega^2 y.$$

அதிரும் துகளின் ஓர் அலகு நிறையின் மீள் விசை $f = m\,a$

$$= 1 \times \frac{d^2y}{dt^2}$$
$$= -\omega^2 y$$

$$\therefore \quad \frac{d^2y}{dt^2} + \omega^2 y = 0$$

எனவே, தடையுறாத அலை இயக்கத்தின் பகுவியல் சமன்பாடு (differential equation)

$$\frac{d^2y}{dt^2} + \omega^2 y = 0$$

அலைபாயும் இடைநிலைப் பொருளில் இன்னும் சில மீள் விசைகள் செயல்படுகின்றன. உராய்தலால் (friction) ஏற்படும் விசை இவற்றிலொன்று. இவை துகள்கள் அதிர்வதைத் தடை செய்ய முயல்கின்றன. ஆகவே, கூடிய சீக்கிரம் துகள்களின் துடிப்பு நின்றுவிடும். இவற்றால் செயல்படும் மீள்விசை துகளின் வேகத்திற்கு நேர் விகிதத்தில் (proportional) இருக்கும்.

$$\text{மீள் விசை} = -2k.\frac{dy}{dt}$$

$2k$ என்பது ஒரு விகித சம மாறிலி (contstant of proportionality). -குறி, மீள் விசையும் இயக்கத்திற்கெதிர்த் திசையிலிருக்கிறதென்பதைக் காட்டுகிறது. எனவே,

$$\frac{d^2y}{dt^2} = -\omega^2 y - 2k\frac{dy}{dt}$$

$$\therefore \quad \frac{d^2y}{dt^2} + 2k.\frac{dy}{dt} + \omega^2 y = 0. \quad \ldots\ldots(1)$$

இதுவே, தடையுற்ற அலையின் பகு சமன்பாடு. இதிலிருந்து y-ன் மதிப்பைக் காணலாம்.

$$y = e^{\lambda t}$$
$$\frac{dy}{dt} = \lambda . e^{\lambda t}$$
$$\frac{d^2y}{dt^2} = \lambda^2 . e^{\lambda t}$$

இவற்றின் மதிப்புகளை (1) ஆவது சமன்பாட்டில் ஈடுசெய்தால்,

$$\lambda^2 . e^{\lambda t} + 2k \lambda e^{\lambda t} + \omega^2 . e^{\lambda t} = 0$$
$$\therefore \quad \lambda^2 + 2ky + \omega^2 = 0 \text{ ......(2)}$$

ஆகவே, $\lambda = -k \pm \sqrt{k^2 - \omega^2}$

(i) $k^2 > \omega^2$

$$\lambda_1 = -k - \sqrt{k^2 - \omega^2}$$
$$\lambda_2 = -k + \sqrt{k^2 - \omega^2}$$
$$\therefore \quad y = A e^{-\lambda_1 t} + B e^{-\lambda_2 t}$$

A, B, இரண்டும் மாறிலிகள். t-ன் மதிப்பு சுழியாக இருந்தாலும், எண்ணிலியாக இருந்தாலும், y-ன் மதிப்பு ஒரே திசையிலிருக்குமென்று சமன்பாடு (3)-லிருந்து விளங்கும். மேலும் t-ன் மதிப்பு எதுவாகவிருந்தாலும் y-ன் மதிப்பு திசை மாறுவதில்லை. ஆனால், t-ன் மதிப்பு அதிகரிக்கும்பொழுது, y-ன் மதிப்பு குறைகிறது. ஆகவே, இயக்கம் அலைவாக விருக்கவேண்டியதற்குரிய முதல் நிபந்தனைக்குட்படவில்லை. இது பெரிதும் தடையுற்ற அலைவென்றும், சீக்கிரம் அழிந்துவிடுமென்றும் பொருள்.

(ii) $k^2 < \omega^2$

$k^2 - \omega^2$, எதிர்க்குறியுடையதாக இருக்கும்.
$\omega^2 - k^2 = p^2$ என்று வைத்துக் கொள்வோம்.

பிறகு,

$$\lambda_1 = -k + jp$$
$$\lambda_2 = -k - jp$$

j என்பது $\sqrt{-1}$ -க்குச் சமம்.

இதிலிருந்து,

$$y = A e^{\lambda_1 t} + B e^{\lambda_2 t}$$

λ_1ஐயும், λ_2ஐயும் முன்போல் கணக்கிடலாம். இப்பொழுது, அதாவது $t = 0$ ஆக இருக்கும்போது, அல்லது இயக்கம் ஆரம்பிக்கும் தறுவாயில், இடப்பெயர்ச்சி பெரும மதிப்புடையதாகவிருக்கும். ஆரம்ப வீச்சு a-க்குச் சமம். ஆகையால்,

$$a = A e^0 + B e^0$$
$$\text{அல்லது, } a = A + B$$

ஆரம்பத்தில், துகளின் வேகமும் பூஜ்ஜியமாகவிருக்கும்; ஏனென்றால், துகள் கடைசியிலிருப்பதால் அது அசையா நிலையிலிருக்கும்.

$$\frac{dy}{dt} = \lambda_1 \cdot Ae^{\lambda_1 t} + \lambda_2 \cdot Be^{\lambda_2 t} = 0$$

அல்லது, $\lambda_1 A + \lambda_2 B = 0$

அல்லது, $\lambda_1 A + \lambda_2 (a - A) = 0$

அல்லது, $A = \frac{a\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1}$

$$B = -\frac{a\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1}$$

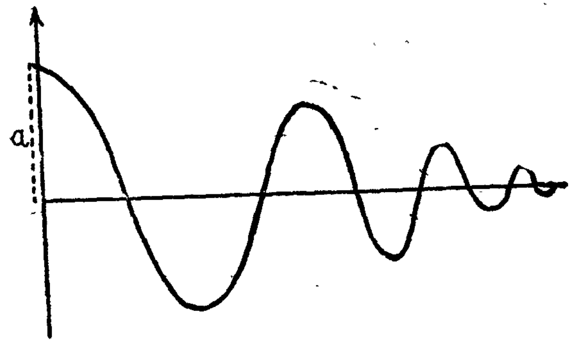
ஆகையால்,

$$y = \frac{a\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{\lambda_1 t} - \frac{a\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{\lambda_2 t}$$

$$= \frac{a}{\lambda_2 - \lambda_1} \left\{ \lambda_2 e^{\lambda_1 t} - \lambda_1 e^{\lambda_2 t} \right\}$$

$$= \frac{a}{\lambda_2 - \lambda_1} \left\{ \lambda_2 e^{(-k+jp)t} - \lambda_1 e^{-(k+jp)t} \right\}$$

$$= \frac{a e^{-kt}}{\lambda_2 - \lambda_1} \left\{ \lambda_2 e^{jpt} - \lambda_1 e^{-jpt} \right\}$$



படம் 19

இப்பொழுது $\lambda_2 - \lambda_1 = -k - jp + k - jp$

$$= -2jp$$

$$\therefore \quad y = -\frac{ae^{-kt}}{2jp} \left\{ \lambda_2 \cdot e^{jpt} - \lambda_1 \cdot e^{-jpt} \right\}$$

இப்பொழுது, $-\frac{a}{2jp} = a_0$; என்று வைத்துக்கொண்டால்,

$$y = a_0 . e^{-kt} (\lambda_2 . e^{jpt} - \lambda_1 . e^{-jpt})$$

$$y = a_0 e^{-kt} \cos (pt - \delta) \ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

இதுதான், தடையுற்ற இயக்கத்தின் சமன்பாடாகும். $p = \sqrt{\omega^2 - k^2}$; δ-என்பது துடிப்புநிலைப்பாகும். $a_0 e^{-kt}$ என்பது இயக்கத்தின் வீச்சு. இது காலத்தின் எதிர் அடுக்குக் குறி சார்பாயுள்ளது (inverse exponential function). காலம் அதிகரிக்கும்பொழுது, வீச்சு வேகமாகக் குறைகிறது. இறுதியில் இயக்கமே நின்று விடுகிறது. ஒலியானது விரைவில் மறைந்துவிடுகிறது.

11. திணிப்பு அலைவுகள் (Forced oscillations)

பொதுவாக மீள் தன்மையுடைய இடைநிலைப் பொருளுக்கு ஒலி அலைகளைத் தடையூறு செய்யும் பண்பு உண்டென்று கண்டோம். ஆனால், இடைநிலைப் பொருளின்மீது இடைஞ்சலைத் தொடர்ந்து ஈடு செய்யக்கூடிய ஒத்திசை இயக்கப் புறவிசை யொன்றைச் சுமத்தினால் மேற்கூறிய தடையூற்றை அழிக்க முடியும். அப்பொழுது துகள்கள் புறவிசையின் அதிர்வெண்ணையே ஏற்றுக் கொண்டு அந்த அதிர்வெண்ணுடனே அதிர்கின்றன. ஒலியும் தொடர்ந்து பாதுகாக்கப்படுகின்றது. இப்பொழுது துகள்களின் அலைவுகள் கட்டுப்பாட்டிற்குட்பட்டதாகக் கருதப்படுகின்றன.

$\frac{m}{2\pi}$ அதிர்வெண்ணும், f வீச்சுமுடைய ஒத்திசை இயக்க இயந்திரப் புறவிசையொன்று இடைநிலைப் பொருளின் மீது சுமத்தப் படுவதாக வைத்துக்கொள்வோம். பிறகு,

$$\frac{d^2y}{dt^2} = -\omega^2 y - 2k\frac{dy}{dt} + f \sin mt$$

அல்லது,

$$\frac{d^2y}{dt^2} + 2k. \frac{dy}{dt} + \omega^2 y = f \sin mt \qquad \ldots\ldots(1)$$

முன் கூறப்பட்டதுபோல், இதனால் விளையும் இயக்கம் $\frac{m}{2\pi}$ என்ற அதிர்வெண்ணுள்ள ஒத்திசை இயக்கமாகின்றது. ஆகவே, மேலே யுள்ள சமன்பாட்டிற்குக் கீழே காணும் விடையை எழுதலாம்:

$$y = A \sin (mt - \phi).$$

இதில் A-என்பது புது இயக்கத்தின் வீச்சாகும். ஆகையால்,

$$\frac{dy}{dt} = Am \cos (mt - \phi)$$

$$\frac{d^2y}{dt^2} = -Am^2 \sin(mt-\phi)$$

இவற்றை (1) என்ற சமன்பாட்டில் ஈடு செய்தால் $-Am^2 \sin(mt-\phi) + \omega^2 A \sin(mt-\phi) + 2k\ Am \cos(mt-\phi) = f \sin mt.$ $\sin mt$, $\cos mt$ இவற்றின் எண்களை (coefficients) தனித் தனியே சமன்படுத்தினால்,

$$-Am^2 \cos\phi + \omega^2 A \cos\phi + 2k\ Am \sin\phi = f$$
$$Am^2 \sin\phi - \omega^2 A \sin\phi + 2k\ Am \cos\phi = O$$

அல்லது,

$$-A(\omega^2 - m^2) \sin \varnothing + 2k\ Am \cos \varnothing = O$$
$$A(\omega^2 - m^2) \cos \varnothing + 2k\ Am \sin \varnothing = f$$

இவ்விரண்டு சமன்பாடுகளையும் இருமடி செய்து கூட்டினால்,

$$A^2 (\omega^2 - m^2)^2 + 4k^2 A^2 = f^2$$

அல்லது,

$$A = \frac{f}{[(\omega^2 - m^2)^2 + 4k^2 m^2]^{1/2}}$$

மேலும்,

$$\tan\phi = \frac{2km}{\omega^2 - m^2}.$$

அல்லது,

$$\sin\phi = \frac{2km}{[(\omega^2 - m^2)^2 + 4k^2 m^2]^{1/2}}$$

ஆகவே,

$$A = \frac{f \sin\phi}{2km},$$

$$y = \frac{f \sin\phi}{2km} \sin(mt - \phi).$$

12. ஒத்திசை (Resonance)

அதிரும் துகள்களுக்கு உதவியாக இருக்கும்படி, தக்க நேரங்களில் தாக்குகளை (impulses) அளித்தால் அவற்றின் வீச்சு அதிகரிக்கும். அதனால் துகள்களுள்ள இடைநிலைப் பொருளின் ஆற்றலும் அதிகரிக்கும். அடுத்தடுத்த தாக்குதல்களுக்கிடையே யுள்ள நேரம் துகள்களின் அதிர்வு நேரத்திற்குச் சமமாக இருந்தால்தான் இது நிகழுமென்பதைக் காட்டலாம். துகள்களின் அதிர்வெண்ணுக்குச் சமமான அதிர்வெண்ணுடைய சீரிசை இயந்திர விசையை அவற்றின்மீது சுமத்தி அவற்றின் ஆற்றலை அதிகரிக்கும்பொழுது ஏற்படும் நிகழ்ச்சிக்குத்தான் ஒத்திசை (resonance) என்று பெயர்.

நாம் முன்னமே கண்டுள்ளது 7—(viii), இயக்க ஆற்றல் $\frac{1}{2}\rho\left(\frac{dy}{dt}\right)^2 \delta x$ என்பது. அதாவது, நிர்பந்தப்படுத்தப்பட்ட இடைநிலைப் பொருளில் ஒலிபரவும் திசையில், ஓர் அலகு நீளமும் ஓர் அலகு பரப்புமுள்ள உருளையைக் கற்பனை செய்தோமானல், அக் கற்பனை உருளையில் உள்ள துகள்களின் இயக்க ஆற்றல்,

$$K.E. = \frac{1}{2}\rho\,\delta x\left(\frac{dy}{dt}\right)^2$$

$$v = \frac{dy}{dt} = \frac{f \sin\phi}{2k}\cos(mt-\phi)$$

$$\text{ஆகவே, } K.E. = \frac{1}{2}.\rho.\delta x.\ \frac{f^2 \sin^2\phi}{4k^2}\cos^2(mt-\phi)$$

உருளையிலுள்ள ஆற்றலின் மதிப்பு, இயக்க ஆற்றலின் பெரும மதிப்புக்குச் சமமென்று முன்பே கண்டோம். ஆகையால்,

$$\text{மொத்த ஆற்றல்} = \frac{1}{2}\rho.\delta x.\frac{f^2\sin^2\phi}{4k^2}$$

$\sin\phi$-ன் மதிப்பை அதிகரித்தால், மொத்த ஆற்றலின் மதிப்பும் அதிகரிக்கும். $\sin\phi = 1$ ஆக இருக்கும்பொழுது, மொத்த ஆற்றல் பெரும நிலையை அடையும்.

$$\text{அப்பொழுது } \phi = 90^\circ$$
$$\tan\phi = \infty$$
$$\text{ஆனல், } \tan\phi = \frac{2km}{\omega^2 - m^2}.$$
$$\text{எனவே, } \omega^2 - m^2 = 0$$
$$\omega^2 = m^2$$
$$\omega = m$$

அதாவது, $\frac{\omega}{2\pi}$-க்குச் சமமான துகள்களின் தன்னியல் அதிர்வெண்ணும், $\frac{m}{2\pi}$-க்குச் சமமான புற அதிர்வெண்ணும் சரி சமம். அப்பொழுது வெளிவரும் ஒலியின் ஆற்றல் உச்ச நிலையையடையும். இது நிகழும்பொழுதுதான் ஒலி, வெளி விசையுடன் ஒத்திருக்கிறதென்று சொல்லுகிறோம்; ஒருங்கு செய்யப்பட்டதெனக் (tuned) கருதுகிறோம். எனவே, மேற்கூறப்பட்ட இரண்டு அதிர்வெண்கள் சமமாக இருக்கும்பொழுது ஒலியும் காக்கப்படுகிறது (maintained). வெளிவிசையின் அதிர்வெண் சிறிது பாதிக்கப்பட்டாலும், ஒத்திசையும் அதிகம் பாதிக்கப்படுகின்றதென்பதைக் காணலாம்.

13. சமச்சீரான அதிர்வுகளும் சமச்சீரில்லாத அதிர்வுகளும் (Symmetric and Asymmetric Vibrations)

இதுவரை ஆராயப்பட்ட சீரிசை இயக்கங்களெல்லாம் சமச்சீரான அதிர்வுகளின் (symmetric vibrations) வகையைச் சேரும். இவற்றிலெல்லாம், துகள்களை இயக்கும் மீள் விசைகள் இடப்பெயர்ச்சிகளுடைய முதல் மடி (first power) விகிதத்திலிருக்கும். இதுபோன்ற இயக்கங்களில், குறிப்பிட்ட இடப்பெயர்ச்சிகளைச் சார்ந்த மீள் விசைகளின் மதிப்பு, இடப்பெயர்ச்சிகளின் திசைகள் மாறினாலும் மாறுவதில்லை. உதாரணமாக,

$$\frac{d^2y}{dt^2} = -\omega^2.y$$

என்னும் சமன்பாட்டை எடுத்துக்கொண்டால்,

$$\frac{d^2y}{dt^2} \propto y$$

இடப்பெயர்ச்சியின் திசை மாறினால், y என்பது $-y$ ஆகும். அப்பொழுது

$$\frac{d^2y}{dt^2} \propto -y$$

ஆகையால், முடுக்கத்தின், அதனால் மீள் விசையின் மதிப்பு மாறுவதில்லை.

ஆனால், பல்கூட்டதிர்வுகளில் (complex harmonic vibrations) மீள்விசைகள், இடப்பெயர்ச்சிகளின் ஒருமடி மதிப்புகளை மட்டுமல்லாமல், இருமடி, மும்மடி (second power, third power) மதிப்புகளையும் சார்ந்திருக்கும். உதாரணமாக,

$$\frac{d^2y}{dt^2} = -\omega^2y - ky^2,$$

என்பது ஒரு பல் கூட்டதிர்வின் சமன்பாடு. இதில் y^2 கூடகலந்திருக்கிறது. y-ன் திசையை மாற்றினால், அப்பொழுது

$$\frac{d^2y}{dt^2} = -\omega^2(-y) - k(-y)^2$$

$$= \omega^2y - ky^2$$

இதில் மீள்விசையின் மதிப்பு மாறுகிறது. எனவே, இங்கே மீள் விசையின் திசை, மதிப்பு இரண்டுமே மாறுகின்றன. இதுபோன்ற அதிர்வுகள், அதாவது ஒரே இடப்பெயர்ச்சிக்கு, துகள் எதிர்த் திசைகளில் நகரும்போது, மீள்விசையின் மதிப்பு மாறுமானால்,—சமச்சீரற்ற அதிர்வுகள் (asymmetric vibrations) எனப்படும். நமது காதின் ஐவ்வு (drum) இத்தகைய அதிர்வுக்கு ஒரு சிறந்த உதாரணம்.

ஆனால், மீள்விசையின் சமன்பாட்டில், இடப்பெயர்ச்சியின் முதல்மடி மதிப்புடன், மும்மடி மதிப்பு மாத்திரம் கலந்திருந்தால்,

$$\frac{d^2y}{dt^2} = -\omega^2 y - ky^3.$$

இடப்பெயர்ச்சியின் மதிப்பு,$(-y)$ ஆக மாறினால்,

$$\frac{d^2y}{dt^2} = -\omega^2(-y) - k(-y)^3$$

$$= +\omega^2 y + ky^3$$

இப்பொழுது திசை மாறியிருக்கிறதேயொழிய, மீள் விசையின் மதிப்பு மாறவில்லை. ஆகையால், இச் சமன்பாடு சமச்சீரதிர்வுகளைக் குறிக்கும்.

உதாரணங்கள்

1. 4π விநாடிகள் அதிர்வு நேரமும், 3 செ.மீ. வீச்சுமுள்ள சீரிசை இயக்கத்தை ஒரு புள்ளி செய்யுமானால் அதன் பெரும வேகத்தையும், திரும்பும் புள்ளிகளிலிருக்கும் சமயங்களிலுள்ள முடுக்கத்தையும் காண்க.

$$y = a \sin \omega t$$

ஆகையால், $\frac{dy}{dt} = a\,\omega \cos \omega t.$

புள்ளி துடிக்க ஆரம்பிக்கும்பொழுதோ (அல்லது $t = 0$. ஆக இருக்கும்பொழுதும்) அல்லது $t = \frac{T}{2}$ ஆக இருக்கும்பொழுதோ திசை வேகம் பெரும நிலையில் இருக்கும்.

பெரும திசை வேகம் $= a\,\omega \cos \omega t$

$$= 3 \times \frac{2\pi}{4\pi} \times \cos 0$$

$$= 3 \times \tfrac{1}{2} \times 1$$

$= \frac{3}{2}$ செ.மீ./வி.

அல்லது, பெரும திசை வேகம் $= a\,\omega \cos \omega t$

$$= 3 \times \frac{2\pi}{4\pi} \cos \pi$$

$= -\frac{3}{2}$ செ.மீ./வி.

முடுக்கம் $= \frac{d^2y}{dt^2}$

$$= -a\omega^2 \sin \omega t$$

$$= -\omega^2 y$$

திரும்பும்பொழுது $y = 3,$

ஆகையால், முடுக்கம் $= -\left(\frac{2\pi}{4\pi}\right)^2 \times 3$

$= -\frac{3}{4}$ செ.மீ./வி.^{2}

2. 15 பற்களுள்ள ஒரு பற்சக்கரம் நிமிடத்திற்கு 1020 சுற்றுகள் வீதம் சுழல்கின்றது. அது ஒரு இசைக்கவட்டுடன் இயங்கி விநாடிக்கு ஒரு விம்மலை எழுப்புகிறது. சக்கரத்தின் வேகத்தை நிமிஷத்திற்கு 1032 ஆக அதிகரித்தால், விநாடிக்கு இரண்டு விம்மல்கள் எழும்புகின்றன. இசைக் கவட்டின் அதிர்வெண் என்ன?

முதலில் பற்சக்கரம் எழுப்பும் ஒலியின் அதிர்வெண் $= \frac{1020}{60} \times 15$

i.e. $N_1 = 255$

இரண்டாவதாக எழுப்பும் ஒலியின் அதிர்வெண் $N_2 = \frac{1032}{60} \times 15$

$= 258$

இசைக் கவட்டின் அதிர்வெண்ணை N என்று வைத்துக்கொள்வோம். பிறகு

$N \backsim N_1 = 1$

$N = 254$ அல்லது 256

$N \backsim N_2 = 2$

$N = 256$ அல்லது 260

ஆகவே, $N = 256$

3. இரண்டு இசைக்கவடுகள் இயற்கையாக எழுப்பும் ஒலிகளின் அதிர்வெண்கள் 252, 512. இப்பொழுது அதிக அதிர்வெண்ணுடைய இசைக்கவட்டின் அதிர்வெண் சற்றுக் குறைக்கப்படுகிறது. இரண்டு இசைக்கவடுகளையும் இந்நிலையில் பயன்படுத்தி லிஸ்ஸாஜூஸ் படங்கள் வரைந்ததில், படங்கள் 48 விநாடிகளில் 5 முறை சுற்றி முடிக்கின்றன. குறைவுற்ற அதிர்வெண்ணைக் காண்க.

படங்கள் 48 விநாடிகளில் 5 முறை சுற்றி முடிக்கின்றன.

ஆகவே, ஒரு முறை சுற்றி முடிக்க ஆகும் நேரம் $= \frac{48}{5} = 9{\cdot}6$;

அதிக அதிர்வெண்ணுடைய இசைக்கவடு 9·6 விநாடிகளில் ஒரு சுற்று இழக்கின்றது.

ஆகவே, 9·6 விநாடிகளில் அதிர்வெண் குறைக்கப்பட்ட இசைக்கவடு புரியும் அதிர்வுகளின் எண்ணிக்கை $\Big\}$ $9{\cdot}6 \times 512 - 1$

$= 4914{\cdot}2$ அதிர்வுகள்

ஆகவே, அதன் அதிர்வெண் $= \frac{4914{\cdot}2}{9{\cdot}6} = 511.9$

கேள்விகள்

1. கீழே கொடுக்கப்பட்டுள்ள பண்புகளுடைய முன்னேறு அலைகளின் சமன்பாடுகளை எழுதுக.

(a) வீச்சு $= 0{\cdot}2$ செ.மீ., அலைவு நேரம் $= \frac{1}{32}$; அலை நீளம் $= 900$ செ.மீ.

(b) வீச்சு $= 2{\cdot}54 \times 10^{-7}$ செ.மீ., அதிர்வெண் $= 256$, ஒலி வேகம் $= 330$ மீ./செ.

2. வேகத்திற்கு நேர் விகிதத்திலுள்ள எதிர்ப்பையும் இடப்பெயர்ச்சிக்கு நேர் விகிதத்திலுள்ள மீள் விசையையும் உடைய துகளின் இயக்கத்திற்குச் சமன்பாடு காண்க.

3. வீச்சு 5 செ.மீ., அதிர்வெண் 200 உள்ள ஒத்திசை அலையொன்று விநாடிக்கு 200 மீட்டர் வேகத்தில் X-அச்சின் திசையில் செல்கிறது. ஆரம்பித்து 10 விநாடிகள் கழித்து, மூலப் புள்ளியிலிருந்து 525 செ.மீ. தூரத்திலுள்ள ஒரு புள்ளியின் இடப்பெயர்ச்சியைக் கணக்கிடவும் ($y = -5$ செ.மீ.).

4. ஓர் அலையில் பெரும முடுக்கம் 40000 அலகுகள் ; அலையுருவத்தின் பெரும வளை ஒரு சென்ட்டி மீட்டருக்கு 100. அலையின் வேகத்தைக் கண்டுபிடிக்கவும். (விநாடிக்கு 20 செ.மீ.)

5. தடைபட்ட சீரிசை இயக்கத்தின் சமன்பாட்டிற்கு விடை காணவும்.

6. லிஸ்ஸாஜூஸ் வரைபடங்களென்றால் என்ன ? இரண்டு இசைக் கவைகளின் அதிர்வெண்களை எப்படி இப் படங்களை வரைந்து ஒப்பிட முடியும் ?

7. முன்னேறு அலைகளின் பண்புகள், நிலை அலைகளின் பண்புகள் இவற்றை விவரிக்கவும். ஒவ்வொன்றிற்கும் ஒரு சமன்பாட்டினையும் காண்க.

8. கிட்டத்தட்ட சம அதிர்வெண்களையுடைய இரண்டு இசைக்கவைகள் ஒலிக்கும்பொழுது உண்டாகும் விம்மல்களுக்குச் சமன்பாடு கண்டுபிடிக்கவும்.

9. ஒலியியலில் ஒத்திசையென்னும் பொருளுக்கு விளக்கந் தருக. இதன் உபயோகங்களென்ன ?

10. ஒரு முன்னேறு அலையின் வீச்சு $= 10$ செ.மீ.; அதிர்வெண் $= 10$; அலையின் நீளம் $= 60$ செ.மீ.; அலையின் சமன்பாட்டினை எழுதுக.

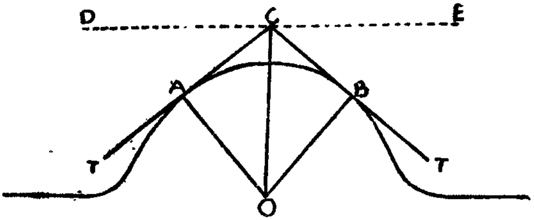
2. அலைவுப் பாங்குகள்
(Vibrating Systems)

1. அதிர்வு வகைகள்: (Modes of Vibration): திடப் பொருள்கள் இயக்கப்படும்பொழுது, பல சுரங்கள் (notes) உண்டாகின்றன. ஒவ்வொரு சுரத்துடனும் பல சீரிசைகள் (harmonics) வெளியாகின்றன. இத்துடன் நெட்டலைகள், குறுக்கலைகள், முறுக்கலைகள் என மூன்று வகை அலைகள் ஒரே சமயத்தில் இருக்கவும் இருக்கலாம். ஒரு வித அலையை ஊக்குவதற்கும் கட்டுப்படுத்துவதற்கும் காரணமாக இருப்பது ஒலிக்கும் திடப்பொருளின் பௌதிக நிலையாகும்; அலையை இயக்கும் முறையும் இதற்குக் காரணமாக இருக்கலாம். இழுக்கப்பட்டு விசையிலுள்ள கம்பியொன்று துடிக்கும்பொழுது ஏற்படுவது குறுக்கலைகளேயாகும்; வாயுமண்டலம் துடிக்குமானால் நெட்டலைகள் மட்டுமே ஏற்படும்.

திடப்பொருளானது முறுக்கத் தகைவுக்கோ (torsional stress), பருமத் தகைவுக்கோ (volume stress) அல்லது சறுக்கத் தகைவுக்கோ (shearing stress) உள்ளாக்கப்படலாம். ஆகவே, குறுக்கலைவுகளோ, நெட்டலைவுகளோ, முறுக்கலைவுகளோ ஒரு திடப்பொருளின் வழியே அனுப்பப்படக்கூடும். ஆனால், வாயுப் பொருள்களைப் பருமத் தகைவுக்கு மட்டுமே உள்ளாக்க முடியும்; ஆதலால், அப்பொழுது ஏற்படும் அலைவுகள் நெட்டலைவுகளாகத் தான் இருக்கமுடியும்.

2. திடப்பொருளும் குறுக்கலைகளும் [டெய்ட் கயிற்றுக் கணக்கு (Tait's rope problem)]: சீரிசை குறுக்கலைகள் ஒரு திடப் பொருளின் வழியே செல்லும்பொழுது, உட்பொருளின் துகள்கள் அலைகள் செல்லும் திசைக்குச் செங்குத்தான திசையில் இங்கும் அங்கும் அசைகின்றன. எக்கணத்திலும் அத்துகள்களின் அமைப்பு ஒரு சைன் வளைகோட்டைப் (sine curve) போன்றிருக்கும்.

திடப்பொருள்களில் குறுக்கலைகள் செல்லும் வேகத்தைக் கணக்கிட பி.ஜி. டெயிட் என்பவர், கயிற்றுக் கணக்கைக் கொண்டு விளக்கினார். விசை துவக்கப்பட்டுள்ள ஒரு கயிற்றின் வழியே குறுக்கலைகள் பாய்வதாக வைத்துக்கொள்வோம். அலையின் ஒரு குறிப்பிட்ட நிலை நகர்வதைத்தான், அலை பரப்பல் (propagation) என்கிறோம். உதாரணமாக, ஒரு கொண்டைபோல் (hump) தோன்றும் அலைவு நிலை நகர்வது ஒலிபரப்புதலாகும். இக் கொண்டை 'v' என்னும் வேகத்துடன் கயிற்றின் வழியே செல்வதாகக் கொள்வோம். அலை பரவும் திசைக்கு எதிர்த்திசை



படம் 20

யில் அதே வேகத்துடன் கயிற்றை இழுத்தால், கொண்டையானது அசையாமல் இருப்பதுபோல் தோன்றும். கயிறு நகரும்பொழுது, அதன் பல துண்டுகள் (elements) கொண்டையின் மேல் அதே வேகத்துடன் நழுவுவதுபோல் இருக்கும்.

dx நீளமுள்ள AB என்ற துண்டைக் கவனிப்போம். M என்பது அதன் நிறையாகவும், r என்பது கொண்டையின் ஆரமாகவும் இருந்தால், துண்டு ஓடும்போது அதன் மேலியங்கும் மைய நாடு விசை $= \frac{MC^2}{r}$. துண்டை அழிக்கவோ அல்லது அதன் பருமனை அதிகரிக்கவோ இவ் விசை முயலும்.

ஆனால், கயிற்றின் மீதுள்ள விசை கொண்டையை அழிக்க முயலும். கயிற்றின் மீது இயங்கும் விசை T என்று வைத்துக் கொள்வோம். A, B என்ற இடங்களில், T-யின் மதிப்பை CO என்ற திசையில் கூறுக்கினால், இவற்றின் கூட்டுத் தொகை

$$F = T\cos ACO + T\cos BCO$$
$$= T\sin AOC + T\sin BOC$$
$$= 2T\sin AOC.$$

ஏனெனில், AOC BOC. AB என்ற சிறு துண்டு O என்ற மையத்தில் அமைக்கும் கோணம் மிகச் சிறியதாக இருக்கும். இக்கோணத்தை $d\theta$ என்று குறிப்பிட்டால்,

$$F = 2T \cdot \sin \frac{d\theta}{2}$$
$$= 2T \cdot \frac{d\theta}{2}$$
$$= T \cdot d\theta.$$

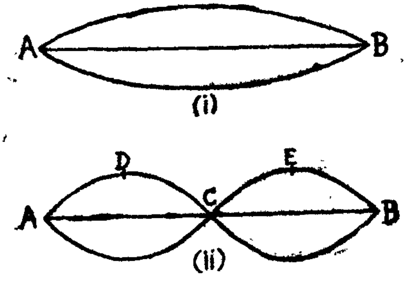
கொண்டை அசையாமலிருப்பது போன்ற தோற்றமளிப்பதால், மைய நாடு விசையும், கயிற்றின்மீதுள்ள விசைகளின் ஆக்கக் கூறுத் தொகையும் சமம். எனவே,

$$M\frac{C^2}{\gamma} = T \cdot d\theta$$
$$= T \cdot \frac{dx}{\gamma}$$
$$\therefore \quad MC^2 = T \cdot dx.$$

ஒரு சென்டிமீட்டர் நீளக்கயிற்றின் நிறை m கிராமென்றால், $M = m\,dx$

$$\therefore \quad m\,dx\,C^2 = T.dx$$
$$C^2 = \frac{T}{m}$$
$$C = \sqrt{\frac{T}{m}}$$

3. கம்பிகளும் நிலை அலைவுகளும் (Strings and stationary vibrations): இருபக்கமும் இழுத்து விசைக்கப்பட்ட கம்பி நடுவில் மீட்டப்பட்டால், நிலை அலைவுகள் எழுகின்றன; அப்பொழுது அதிகச் செறிவுள்ள ஒலியுண்டாகிறது. இதற்கு ஆதார சுரம் (fundamental note) என்று பெயர். கம்பியின் இருமுனைகளும் (A, B) கணுக்களாகும்; மையம் எதிர்க் கணுக்களாகும். குறுக்கலைகளின் நீளம் கம்பியின் நீளத்தின் இருமடங்காகும் ($2l$). ஆகவே,



படம் 21

$$n = \frac{C}{\lambda} = \frac{C}{2l}$$

$$\therefore \frac{C}{2l} = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}$$

$$\therefore n = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}$$

முதற் சுரத்திற்கு இதுதான் சமன்பாடு.

கம்பி இரண்டு துண்டுகளாகவும் துடிக்கலாம் [21 (ii)] A, B கம்பியின் மையம் ஆக மூன்று கணுக்கள் இருக்கின்றன. இரண்டு எதிர்க் கணுக்களும் உள்ளன. கம்பியின் நீளம் அலைவு நீளத்திற்குச் சமமாகிறது. அதாவது $\lambda = l$. ஆகையால்,

$$n_1 = \frac{C}{\lambda} = \frac{C}{l}$$

$$= \frac{1}{l}\sqrt{\frac{T}{m}}$$

$$= 2n.$$

n_1-க்கு முதல் மேற்சுரம் (overtone) எனப்பெயர். இதன் அலைவெண் முதற்சுரத்தின் அலைவெண்ணின் இருமடங்கு. இது போலவே, கம்பி 3, 4, 5 முதலிய துண்டுகளாகத் துடித்தால், இரண்டாவது, மூன்றாவது, நான்காவது மேற்சுரங்கள் ஒலிக்கும்; அவற்றின் அலைவெண்கள் முறையே முதற்சுரத்தின் அலைவெண்ணைவிட மூன்று மடங்கு, நான்கு மடங்கு, ஐந்து மடங்குகளாக விருக்கும். பொதுவாக, கம்பி N துண்டுகளாகத் துடித்தால், எழும்பும் மேற்சுரத்தின் அதிர்வெண் Nn ஆக இருக்கும்; இது $(N-1)$ ஆவது மேற்சுரமாகும். ஓர் இழுத்துப் பிடிக்கப்பட்ட கம்பி துடிக்கும்பொழுது எல்லா மேற்சுரங்களும் ஒரே சமயத்தில் ஒலிக்கின்றன.

ஓர் இலேசான கம்பியை பிகுவாக இழுத்துப் பிடித்து குறுக்கே மீட்டி நிலையான குறுக்கலைகளை எழுப்பும்படி செய்யலாம். இக் கம்பி கேட்கக்கூடிய ஒலியை எழுப்பலாம்; எழுப்பாமலுமிருக்கலாம். ஆனால், நிலையான அலைவுகள் வளையம் வளையமாகத் துடிப்பதைக் காணலாம்.

4. சோனமீட்டர் (i) குறுக்கதிர்வுகளின் விதிகள் :

$n = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}$ என்ற சமன்பாட்டிலிருந்து கம்பிகளின் குறுக்கலைவு விதிகளைக் கீழ்க்கண்டவாறு கூறலாம் :

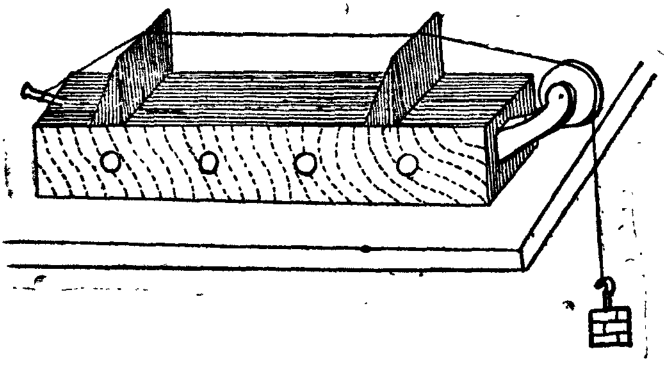
1. குறிப்பிட்ட கம்பி குறிப்பிட்ட பிகுவில் இருந்தால், துடிக்கும் கம்பியின் முதற்சுரத்தின் அதிர்வெண்ணும்

அதன் நீளமும் எதிர்விகிதத்திலிருக்கும் $\left(n \propto \frac{1}{l}\right)$.

2. குறிப்பிட்ட நீளமுள்ள ஒரு கம்பி இழுவிசையில் இருந்தால் துடிக்கும் கம்பியின் முதற்சுரத்தின் அதிர்வெண்ணும் பிகுவின் இருமடி மூலமும் நேர் விகிதத்திலிருக்கும் $(n \propto \sqrt{T})$.

3. ஒரே நீளமுள்ள பல கம்பிகள் ஒரே பிகுவிலிருந்து துடித்தால், முதற்சுரத்தின் அதிர்வெண், கம்பியின் நெடுக்கை அடர்த்தியின் இருமடி மூலத்துடன் எதிர் விகிதத்திலிருக்கும் $\left(n \propto \frac{1}{\sqrt{m}}\right)$.

(ii) சோனுமீட்டர்: கம்பிகளின் அசைவினால் உண்டாகும் ஒலியின் சுருதி எப்படி கம்பிகளின் நீளம், பிகு, அடர்த்தி இவைகளை யொட்டியிருக்கின்றதென்பதை சோனுமீட்டர் என்ற கருவியின் மூலம் அறியலாம். இதன் முக்கிய பாகம் சுமார் 60 சென்டி மீட்டர் நீளமுள்ள மரத்தாலான ஓர் ஒலிப்பெட்டி. பெட்டியின் இருமுனைகளிலும் இரண்டு குதிரைகள் (bridges) பொருத்தப் பட்டுள்ளன. ஒரு கோடியில் ஒரு முளையும் (peg) மற்றொரு கோடியில் ஒரு கப்பியும் (pulley) அமைக்கப்பட்டிருக்கின்றன.



படம் 22

முளையில் ஒரு கம்பியைக் கட்டி, இரண்டு குதிரைகளின்மீதும் மறுகோடியிலுள்ள கப்பியின்மீதும் அதைப் போகச்செய்து, கம்பியின் நுனியில் பளுவான எடைக்கல் கட்டப்பட்டிருக்கிறது. கம்பி இப்பொழுது பிகுவாக இருக்கும். பெட்டியின் வெளியிலிருக்கும் காற்றுக்கும் உள்ளிருக்கும் காற்றுக்கும் தொடர்பு இருப்பதற்காக, பக்கப் பலகைகளில் சில துளைகள் உள்ளன. கம்பியின் நீளத்தை அளக்க அளவுகோல் ஒன்று மேற்பாகத்தில்

பதிக்கப்பட்டிருக்கிறது. நிலையான இரண்டு குதிரைகளினிடையே ஒரு நகரும் குதிரையும் வைக்கப்பட்டிருக்கும். இரண்டு மூன்று கம்பிகள் கட்டப்படுவதற்கும் சாதனங்களுண்டு.

கம்பியை மீட்டியவுடன் கணீரென்று ஒலி எழும்புவதைக் கேட்கலாம். கம்பியின் அசைவினால் ஏற்படும் அதிர்ச்சி குதிரைகளின் வழியாக இறங்கி பெட்டியை அடைந்து அதிலிருக்கும் காற்றில் பரவுகின்றது. பெட்டியின் உட்பருமன் அதிகமாக இருப்பதாலும், பெட்டியின் பலகை மெல்லியதாக இருப்பதாலும் ஒலி அதிகமாகக் கேட்கிறது.

கம்பியை மீட்டி ஒலியெழுப்பி, அவ்வொலியுடன் வேறெந்த ஒலியையும் ஒப்பிட்டு அதன் சுருதியைக் கணக்கிடலாம். இசைக் கவடு ஒன்றின் அதிர்வெண்ணைக் கண்டுபிடிக்க வேண்டுமானால், அதை இயக்கி அதன் தண்டை சோனாமீட்டர் பெட்டியின்மீது வைத்தாலே, கம்பி ஒலியெழுப்பும். கம்பியின் நீளத்தையோ அல்லது பிகுவையோ மெதுவாக மாற்றிக்கொண்டே வந்தால் இசைக்கவட்டின் ஒலியும் கம்பியின் ஒலியும் சேர்ந்து விம்மல்கள் (beats) கிளம்பும். இப்பொழுது கம்பியின் நீளத்தைக் கவனமாக மாற்றிக்கொண்டுவந்தால், இரண்டு ஒலிகளும் இணைந்து ஒத்திசைக்கும். அப்பொழுது இரண்டு சுரங்களும் சமமாக இருக்கும். கம்பியின் ஒலியெழுப்பும் பகுதியின் நீளம் l என்றும், நெடுக்கை அடர்த்தி m என்றும், பிகு (tension) T என்றும் இருந்தால், இசைக்கவட்டின் சுருதியும், கம்பியின் சுருதியும்

$$n = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}$$

கம்பியின் நுனியில் கட்டப்பட்டுள்ள எடைக்கல்லின் நிறை (mass) M என்றால், $T = Mg$.

ஆகையால் $n = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{Mg}{m}}$. இதிலிருந்து இசைக்கவட்டின் அதிர்வெண்ணாகிய n-ன் மதிப்பைக் கணக்கிட முடியும்.

(iii) நிலையான குறுக்கலைவுகளின் விதிகளை மெய்ப்பித்தல்

(a) முதல்விதி : முதல் விதியின்படி $n \propto \frac{1}{l}$

$$n = \frac{k}{l}$$

$$\therefore \quad nl = k \text{ (மாறிலி)}.$$

பரிசோதனை: வெவ்வேறு அதிர்வெண்களுடைய மூன்று அல்லது நான்கு இசைக்கவடுகளைப் பொறுக்கிக் கொள்ள வேண்டும். ஓர் இசைக்கவட்டை இயக்கி அதன் தண்டை சோனு மீட்டர் பெட்டியின்மீது வைத்து, சோனுமீட்டர் கம்பியையும் மீட்டி, இரண்டு ஒலிகளையும் இணையவைக்க வேண்டும். முதலில் விம்மல்கள் உண்டாகும்படி செய்து, அச்சமயத்தில் கம்பியின் மையத்தில் ஒரு காகிதப் பறவையை (paper rider) வைத்தால் அது வேகமாகப் படபடத்துக் கீழேயும் விழுந்துவிடும். இதிலிருந்து கம்பியின் மையம் ஓர் எதிர்க்கணு என்று அறியலாம். இசைப் பயிற்சியுள்ளோர் ஒத்திசையைத் தமது காதின் உதவி கொண்டே கண்டுகொள்வர். அதிரும் கம்பியின் நீளத்தை அளந்துகொள்ள வேண்டும். பிறகு ஒவ்வோர் இசைக்கவட்டையும் வைத்துக் கொண்டு பரிசோதனையை நடத்தி ஒவ்வொரு தடவையும் அதிரும் கம்பியின் நீளத்தை அளந்துகொள்ளவேண்டும். கிடைத்த நீளங் களைக் கீழ்க்கண்ட அட்டவணையில் பூர்த்தி செய்யவேண்டும்.

தெ.	அதிர்வெண் n	கம்பியின் நீளம் l	இரண்டின் பெருக்குத் தொகை $n \times l$
1	256	l_1	256 l_1
2	341	l_2	341 l_2
3	426	l_3	426 l_3
4	512	l_4	512 l_4

கடைசி வரிசையிலுள்ள எண் மாறாமலிருக்கும். இதிலிருந்து முதல் விதி மெய்யாவது புலப்படும்.

(b) இரண்டாம் விதி: இந்த விதியின்படி $n \propto \sqrt{T}$. அதாவது கம்பியின் பிகுவை மாற்றி, குறிப்பிட்ட நீளமுள்ள கம்பியின் அதிர் வெண்ணை இசைக் கவட்டின் அசைவெண்ணுக்குச் சமமாக்க வேண்டும். இது அவ்வளவு சுலபமாக நடக்கும் காரியமன்று. ஆகவே, இரண்டாவது விதியை நேரிடையாகப் பரிசோதிக்க முடியாது. பரிசோதனையில் ஒரு குறிப்பிட்ட இசைக்கவட்டை வைத்துக்கொண்டு, ஒரு குறிப்பிட்ட பிகுவுக்கு, இணையாக அதிரும் கம்பியின் நீளத்தை முன்பரிசோதனையில் செய்ததுபோல் கண்டு பிடித்து, அதிலிருந்து முதல் விதியைப் பயன்படுத்தி 100 செ.மீ. நீளமுள்ள கம்பியின் அதிர்வெண் என்னவென்பதைக் கணக்கிட வேண்டும். உதாரணமாக, 256 அதிர்வெண்ணுள்ள இசைக்

கவட்டின்மூலம், கம்பியின் பிகு T_1 ஆக இருக்கும்பொழுது அதன் நீளம் l_1ஐக் கண்டுகொள்ள வேண்டும். l_1 செ.மீ. நீளமுள்ள கம்பியின் அதிர்வெண் 256 என்றால், 100 செ.மீ. நீளமுள்ள கம்பியின் அதிர்வெண் என்னவென்பதை முதல் விதியிலிருந்து கணக்கிட்டுக் கொள்ளலாம். 100 செ.மீ. நீளமுள்ள கம்பியின் (பிகு T_1 ஆக இருக்கும்பொழுது) அதிர்வெண் n_1 என்றால்

$$100\, n_1 = 256\, l_1$$

$$\therefore\ n_1 = \frac{256}{100}\, l_1$$

இதுபோலவே, அதே கம்பியின் பிகுவை T_2, T_3, T_4 என்று மாற்றி, ஒவ்வொரு சமயத்திலும், 256 அதிர்வெண்ணுடைய இசைக் கவட்டையே பயன்படுத்தி l_2, l_3, l_4 என்ற கம்பியின் நீளங்களைக் கண்டுபிடித்து, அதனின்றும் 100 செ.மீ. நீளமுள்ள கம்பியின் அதிர்வெண்களை (n_2, n_3, n_4) முறையே $\frac{256}{100}\, l_2$, $\frac{256}{100}\, l_3$, $\frac{256}{100} l_4$ என்று கணக்கிடவேண்டும். கம்பியின் பிகுக்களையும் அதிர்வெண்களையும் கீழ்க்கண்ட அட்டவணையில் பூர்த்தி செய்ய வேண்டும். இப்பொழுதும் கடைசி வரிசையிலுள்ள எண் ஒன்றாகவிருப்பது தெரியும்.

நெ.	பிகு T	100 செ.மீ. கம்பியின் அதிர்வெண் $n \propto l$	$l/\sqrt{T}$	l^2/T
1	T_1	l_1	$l_1/\sqrt{T_1}$	l_1^2/T_1
2	T_2	l_2	$l_2/\sqrt{T_2}$	l_2^2/T_2
3	T_3	l_3	$l_3/\sqrt{T_3}$	l_3^2/T_3
4	T_4	l_4	$l_4/\sqrt{T_4}$	l_4^2/T_4

மேற்கண்ட கணக்கில் $n = \frac{256}{100}\, l$ என்று இருப்பதால், 100 செ.மீ. நீளமுள்ள கம்பியின் அதிர்வெண் ஒவ்வொரு சமயமும், நீளத்துடன் நேர் விகிதத்திலிருப்பதாகக் கொள்ளலாம். அதாவது $n \propto l$. அட்டவணையில் கடைசி வரிசை l^2/T மாறுமலிருப்பதால், n^2/T-யும் மாறுமலிருக்கிறதெனக் கொண்டு அதிலிருந்து $n/\sqrt{T}$ யும் மாறவில்லையென்று கணக்கிடலாம். எனவே,

$$n \propto \sqrt{T}.$$

குறிப்பிட்ட 100 செ.மீ. நீளமுள்ள கம்பியின் அதிர்வெண் தனது

பிகுவின் இருமடி மூலத்துடன் நேர்விகிதத்திலுள்ளது. இதுதான் இரண்டாவது விதியாகையால், இரண்டாம் விதி பரிசோதிக்கப் பட்டதாகக் கொள்ளலாம்.

(c) மூன்றும் விதி: இவ் விதியில் வெவ்வேறு நெடுக்கை அடர்த்திகளுடைய கம்பிகளை ஒரே பிகுவில் வைத்து, நீளத்தை மாற்றிக் குறிப்பிட்ட ஓர் அதிர்வெண்ணுக்குக் கொண்டுவரவேண் டும். இதுவும் நேரிடையாகச் செய்யக்கூடியதன்று. ஆகவே, இப் பரிசோதனையிலும், 100 செ.மீ. நீளமுள்ள வெவ்வேறு கம்பிகளின் அதிர்வெண்களை மறைமுகமாகத்தான் காணவேண்டும். முதற் கம்பியை T என்ற பிகுவுக்குள்ளாக்கி, 256 அதிர்வெண்ணுடைய இசைக்கவட்டைப் பயன்படுத்தி அத்துடன் ஒத்திசையெழுப்பும் நீளம் l_1 ஐக் கண்டுபிடிக்கவேண்டும். முன்போலவே l_1 செ.மீ. நீளக் கம்பியின் அதிர்வெண் 256 என்றால், 100 செ.மீ. நீளமுள்ள கம்பியின் அதிர்வெண் $n_1 = \frac{256}{100} l_1$ என்று கணக்கிடலாம். அதாவது, அதிர்வெண் n_1, கம்பியின் நீளம் l_1 செ.மீ.-க்கு நேர் விகிதத்திலுள்ளது. முதற்கம்பியின் நெடுக்கையடர்த்தி m_1 என்று வைத்துக்கொள்வோம். பிறகு m_2, m_3, m_4 முதலிய நெடுக்கை அடர்த்திகளுடைய வெவ்வேறு கம்பிகளைப் பயன்படுத்தி, ஒவ் வொரு கம்பியையும் T என்ற பிகுவில் வைத்து, 256 அதிர் வெண்ணுடைய இசைக்கவட்டைப் பயன்படுத்தி, 100 செ.மீ. நீள முள்ள கம்பிகளின் அதிர்வெண்கள் n_2, n_3, n_4 முதலியவற்றைக் கண்டுபிடிக்க வேண்டும். $n_2 = \frac{256}{100} l_2$; $n_3 = \frac{256}{100} l_3$; $n_4 = \frac{256}{100} l_4$ ($n_2 \propto l_2$; $n_3 \propto l_3$; $n_4 \propto l_4$). ஒரு பிகுவுக்குள்ளாகிய m_1, m_2, m_3, m_4 என்ற நெடுக்கையடர்த்திகளுடைய கம்பிகளின் அதிர் வெண்களைக் கீழ்க்கண்ட அட்டவணையில் பூர்த்தி செய்ய வேண்டும்.

நெ.	நெடுக்கை அடர்த்தி (m)	100 செ.மீ. கம்பி யின் அதிர்வெண் $n \propto (l)$	$l\sqrt{m}$	l^2m
1	m_1	l_1	$l_1\sqrt{m_1}$	$l_1^2m_1$
2	m_2	l_2	$l_2\sqrt{m_2}$	$l_2^2m_2$
3	m_3	l_3	$l_3\sqrt{m_3}$	$l_3^2m_3$
4	m_4	l_4	$l_4\sqrt{m_4}$	$l_4^2m_4$

கடைசி வரிசையிலுள்ள எண் ஒன்றாகவேயிருக்கும். ஆகவே, l^2m மாறாமலிருக்கிறது; n^2m-ம் மாறவில்லை என்றுதான் பொருள். ஆகையால், $n^2 \propto \frac{1}{m}$ அல்லது $n \propto \frac{1}{\sqrt{m}}$. இதுதான் மூன்றாவது விதி.

(d) இசைக்கவட்டின் அதிர்வெண் காணுதல்: $n = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}$ என்ற சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தி ஓர் இசைக்கவட்டின் அதிர்வெண்ணைக் கண்டுபிடிக்கலாம்.

$$n = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}$$

$$= \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{M}{m}}$$

$$= \frac{1}{2}\sqrt{\frac{g}{m}} \cdot \frac{\sqrt{M}}{l}$$

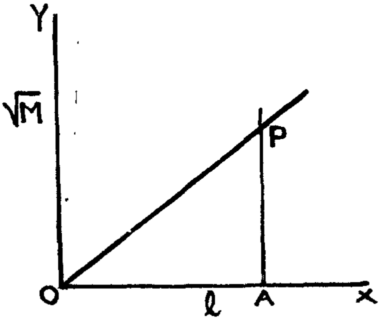
$$= K \cdot \sqrt{\frac{M}{l}}$$

இப் பரிசோதனையில் ஒரே ஒரு கம்பியை உபயோகித்தால் போதுமானது. ஒரு பித்தளைக் கம்பியை சோனாமீட்டரின் முனையில் பிணைத்து, அதை இரண்டு அசையாக் குதிரைகளின்மீது செலுத்தி, கம்பியின்மீது ஏற்றி, கம்பியின் மறுமுனையில் தெரிந்த எடைக்கல் (2000 கிராம்) ஒன்றைத் தொங்கவிட வேண்டும். பிறகு அதிர்வெண் கண்டுபிடிக்க வேண்டிய இசைக்கவட்டைத் தட்டி சோனாமீட்டரின் ஒலிப்பெட்டியின்மீது வைத்தால், கம்பியும் அதிரும். வேண்டுமானால் கம்பியையும் மீட்டிக்கொள்ளலாம். முன்கூறியதுபோல், நகரும் குதிரையை நகர்த்தி அதிரும் கம்பியின் நீளத்தை மாற்றிக் கம்பியும் இசைக்கவடும் ஒத்திசையில் இருக்கும்படி செய்யவேண்டும். அசையும் கம்பியின் நீளத்தை (l_1) அளக்க வேண்டும். பிறகு கம்பியின் பிகுவை மாற்றி, அதாவது எடைக்கல்லின் மதிப்பை 3000 கி., 4000 கி., 5000 கி., என மாற்றி ஒவ்வொரு தடவையும் இசைக்கவட்டிற்கு இணையாக ஒத்திசைக்கும் சோனாமீட்டர் கம்பியின் நீளத்தை (l_2, l_3, l_4, l_5) அளந்துகொள்ள வேண்டும். அளக்கப்பட்ட மதிப்புகளை அட்டவணையொன்றில் குறிக்கலாம். கடைசி வரிசை மாறாமலிருக்கும். அதில் குறிப்

பிட்ட எண்களின் சராசரி மதிப்பைக் கணக்கிட்டுக் கொள்ள வேண்டும். இந்தச் சராசரி எண்ணை, $\sqrt{M}$-க்கும், l-க்கும் இடையே

நெ.	பிகு (M)	கம்பியின் ஒத்திசைக்கும் நீளம் (l)	$\sqrt{M}/l$
1	2000	l_1	$\sqrt{2000}/l_1$
2	3000	l_2	$\sqrt{3000}/l_2$
3	4000	l_3	$\sqrt{4000}/l_3$
4	5000	l_4	$\sqrt{5000}/l_4$
5	6000	l_5	$\sqrt{6000}/l_5$
		சராசரி =	$\sqrt{M}/l$

ஒரு வரைபடம் வரைந்தும் கண்டுபிடிக்கலாம். கம்பியின் நீளத்தை (l) X-அச்சிலும், $\sqrt{M}$-ஐ Y-அச்சிலும் எடுத்துக்கொண்டு ஒவ்வொரு பரிசோதனைக்கும் ஒரு புள்ளியைக் கண்டு பிடித்து, எல்லாப் புள்ளிகளையும் இணைத்தால் ஒரு நேர் கோடு கிடைக்கும். இக்கோடு O-வின் வழியே செல்லும். நேர்கோட்டின் வாட்டம் $\frac{PA}{OA}$ (Gradient), அட்டவணையில் கடைசி வரிசையில் கண்ட $\frac{\sqrt{M}}{l}$-ன் மதிப்புக்குச் சமமாக இருக்கும்.



படம் 23

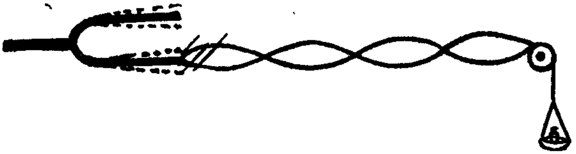
பரிசோதனையில் பயன்படுத்தப்பட்ட கம்பியில் 200 செ.மீ. துண்டை வெட்டியெடுத்து, அதன் எடையைச் சரியாக ஒரு தராசில் கண்டுபிடித்து, அதனின்றும் ஒரு செ.மீ. நீளமுள்ள கம்பியின் எடையை அதாவது கம்பியின் நெடுக்கை அடர்த்தியைக் கண்டுபிடிக்க வேண்டும். $g = 980$ செ.மீ./செகண்ட்^{2} என்பது தெரிந்த கருத்து. இவற்றைக் கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டில் பயன் படுத்தி, இசைக்கவட்டின் அதிர்வெண்ணைக் கண்டுபிடிக்கலாம்.

$$n = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{g}{m}}\cdot\frac{\sqrt{M}}{l}$$

இதே பரிசோதனையைச் செய்து, ஒரு பொருளின் எடையையோ அல்லது கம்பியின் நெடுக்கை அடர்த்தியையோ கண்டுபிடிக்கலாம்.

5. மெல்டே இழை (Melde string): மெல்டே கம்பியின் அமைப்பைப் பின்வருமாறு விளக்கலாம். மின்விசையால் இயக்கப் படும் ஓர் இசைக்கவட்டின் ஒரு முள்ளின் நுனியில் மெல்லிய நூல் கயிறு ஒன்றைக் கட்டி, அக்கயிற்றைச் சற்றுத் தூரத்தில் தனியேயுள்ள ஒரு தாங்கியில் பொருத்தப்பட்டுள்ள உராய்வற்ற கப்பியின்மீது செல்லவிட்டு, கயிற்றின் மற்ருெரு நுனியில் எடைத் தட்டு (scale pan) ஒன்றைத் தொங்கவிட வேண்டும். எடைத் தட்டில் உள்ள எடையைப் பொறுத்திருக்கும் கயிற்றின் பிகு. இசைக்கவடு இயக்கப்படும்பொழுது, கயிறும் அலைவுறும்; நிலை அலைகள் உண்டாகும்; கயிறும் பல வளையங்களாக (loops) துடிக்கும்.

குறுக்கலைகள்: நூல் இரண்டு வகைகளில் அலைவுறலாம். ஒன்று குறுக்கலைவு நிலை அலைகள். மற்ருென்று நெட்டலைவு நிலை அலைகள். இசைக்கவட்டின் முள்ளின் நீளம் நூலின் நீளத்துடன் ஒத்திருந்தால், கவடு துடிக்கும்பொழுது, நூலின் நீளம் கவடு துடிக்கும் திசைக்குச் செங்குத்தாக இருக்கும். இப்பொழுது நூலும் அலைவுறும். அப்பொழுது கிளம்பும் அலைகள் குறுக் கலைகளாகும். நூல் பல வளையங்களாகத் தோன்றும்.



படம் 21

இசைக்கவட்டின் அதிர்வெண்ணைக் கண்டுபிடித்தல்: கப்பியை விருப்பப்படி நகர்த்தி நூலின் நீளத்தைச் சரிப்படுத்தினுல், புரளாமல் இரட்டைப்படை வளையங்களுடன் நூல் அலைவுறும். குறிப்பிட்ட எண்ணிக்கையுள்ள வளையங்களடங்கிய நூலின் நீளத்தை அளந்து, அதிலிருந்து ஒரு வளையத்தின் நீளத்தைக் கணக்கிட வேண்டும். எடைத் தட்டு, அதிலுள்ள எடை இரண்டும் சேர்ந்து M கிராம் என்ருல், நூலின் பிகு $= Mg$. நூலின் நெடுக்கை அடர்த்தி மிகக் குறைவாக இருப்பதால், 10 மீட்டர் நீளமுள்ள நூலின் எடையை ஒரு பகுமுறை தராசில் நிறுத்து, அதனின்றும் 1 செ.மீ. நூலின் நிறையைக் கணக்கிட்டால், அது தான் நூலின் நெடுக்கை அடர்த்தியாகும் (m). இசைக் கவட்டின் அதிர்வெண்,

$$n = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}$$

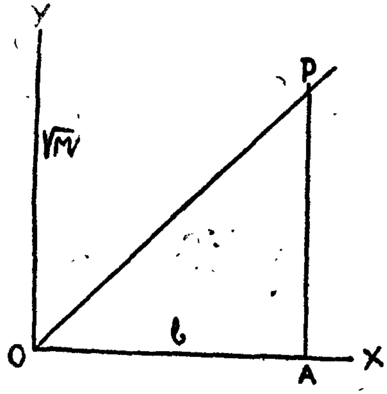
$$= \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{Mg}{m}}$$

$$= \frac{1}{2}\cdot\sqrt{\frac{g}{m}}\ \frac{\sqrt{M}}{l}$$

நூலைப் பல இழுவிசைகளுக்குள்ளாக்கிப் பரிசோதனையைத் திரும்பத் திரும்பச் செய்து, பல பிகுக்களுக்குப் பல நீளங்களைக் கண்டு பிடித்து, அவற்றைக் கீழ்க்கண்ட அட்டவணையில் குறிக்கவேண்டும்.

நெ.	பிகு (M).	ஒரு வளையத்தின் நீளம் (l)	$\sqrt{M}/l$
1	M_1	l_1	$\sqrt{M_1}/l_1$
2	M_2	l_2	$\sqrt{M_2}/l_2$
3	M_3	l_3	$\sqrt{M_3}/l_3$
4	M_4	l_4	$\sqrt{M_4}/l_4$
5	M_5	l_5	$\sqrt{M_5}/l_5$
		சராசரி மதிப்பு	$\sqrt{M}/l$

கடைசி வரிசை மயருமலிருக்கும். $\sqrt{M}/l$-ன் சராசரி மதிப்பைக் கணக்கிட்டுக் கொள்ளவேண்டும். இந்தச் சராசரி மதிப்பை $\sqrt{M}$-க்கும் l-க்குமிடையே ஒரு வரைபடம் வரைந்தும் கண்டு பிடிக்கலாம். ஒரு வளையின் நீளத்தை (l) X-அச்சிலும், $\sqrt{M}$-ஐ Y-அச்சிலும் எடுத்துக் கொண்டு வரைபடம் வரைந்தால் மையப்புள்ளி O வழியே செல்லும்; அது ஒரு நேர் கோடாக அமையும். நேர் கோட்டின் வாட்டம் (Gradient) அட்டவணையில் கடைசி வரிசையில் கண்ட $\sqrt{M}/l$-ன் மதிப்புக்குச் சமமாக இருக்கும். m, g, $\sqrt{M}/l$ முதலிய மதிப்புகளைக் கீழ்க்கண்ட



படம் 25

சமன்பாட்டில் பயன்படுத்தி, இசைக்கவட்டின் அதிர்வெண்ணைக் கண்டுபிடிக்கலாம்.

$$n = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{g}{m}} \cdot \frac{\sqrt{M}}{l} .$$

இப் பரிசோதனையைச் செய்து ஒரு பொருளின் எடையைக் கண்டுபிடிக்கலாம். எடையை முறையே காற்று, நீர், திரவம் இவற்றில் மூழ்கியிருக்கச் செய்து, எடையின் நிறைகள் M_1, M_2, M_3 முதலியவற்றைக் கண்டுபிடித்தால், எடையின் ஒப்படர்த்தியையும், திரவத்தின் ஒப்படர்த்தியையும் கண்டுபிடிக்கலாம்.

எடையின் நிறை காற்றில் $= M_1$

எடையின் நிறை நீரில் $= M_2$

எடையின் நிறை திரவத்தில் $= M_3$

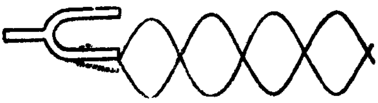
எடை நீரில் இழந்த நிறை $= M_1 - M_2$

எடை திரவத்தில் இழந்த நிறை $= M_1 - M_3$

எடையின் ஒப்படர்த்தி $= \dfrac{M_1}{M_1 - M_2}$

திரவத்தின் ஒப்படர்த்தி $= \dfrac{M_1 - M_3}{M_1 - M_2}$

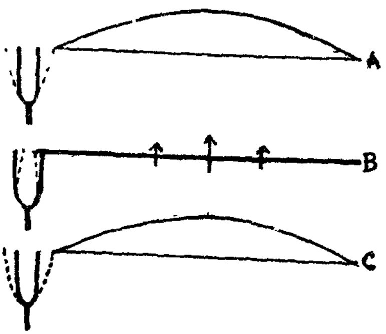
நெட்டலைவுகள்: இசைக்கவட்டின் முள் நூலுக்குச் செங்குத்தாக இருந்தால், கவடு துடிக்கும்பொழுது நூலின் திசையிலே இருக்கும். இந்த அமைப்பில் கவட்டின் துடிப்புகள் நூலின் திசை



படம் 26

யிலே இருக்கும். நூலில் நிலையலைகள் உற்பத்தியாகின்றன. குறுக்கலைவிலிருந்த நீளமும் பளுவும் இப்பொழுதும் இருந்தால், காணப்படும் வளையங்களின் எண்ணிக்கை பாதியாகவிருக்கும். வளையங்கள் உண்டாகும் விதத்தைப் பின்வருமாறு விளக்கலாம். படம் 27A-யில் கண்டபடி இசைக்கவட்டின் வலது முள் வலது கடைசிக்கு இடம் பெயர்ந்துள்ளது. நூல் இப்பொழுது, புள்ளியிட்ட கோட்டிற்குங்கீழே தொங்கியுள்ளது. கவட்டின் முள் இடது கடைசிக்குப் பெயரும்பொழுது, நூல் வெகுவாக இழுத்து நீட்டப்பெற்று அதன் துகள்கள் மேல்நோக்கி நகர்கின்றன. படம் 27B-ல் கண்டபடி நூல் இப்பொழுது தனது இயற்கையான

இடத்தில் பிகுவாக அசையா நிலையில் இருக்கின்றது. கவட்டின் வலது முள் மறுபடியும் வலது கோடிக்கு வரும்பொழுது, பிகு தளர்த்தப்பட்டுத் துகள் துடிப்பதற்கு வாய்ப்பு ஏற்படுகின்றது. தொய்வு நிலையிலிருந்து மேலே எழும்புவதால் அவை மேலே நகர்கின்றன. ஆகவே, கவட்டுமுள் வலதுகோடியை அடையும்பொழுது நூல் உப்பலடைகிறது (படம் 27-C). இப்பொழுது இசைக்கவடு ஓர் அலைவுக்குள்ளாயிருக்கிறது. ஆனால், நூலோ அரை அலைவு தான் செய்திருக்கிறது. (தொய்வு நிலையிலிருந்து வீக்க நிலை வரை) இசைக்கவடு இன்னுமொரு முறை அலைவுற்றால், நூல் திரும்பவும் உப்பலிலிருந்து தொங்கலுக்குத் திரும்பும். இதிலிருந்து நூலின் அதிர்வு நேரம் இசைக்கவட்டின் அதிர்வு நேரத்தில் இரு மடங்கு என விளங்குகிறது. அல்லது இசைக் கவட்டின் அதிர்வெண் நூலின் அதிர்வெண்ணைவிட இருமடங்காகும். நூலின் ஒரு வளைமத்தின் நீளம் l என்றும், பிகு T என்றும், நெடுக்கை அடர்த்தி m என்றும் குறிப்பிடப்பட்டால், நூலின் அதிர்வெண்ணாகிய n ஐப் பின்வருமாறு குறிக்கலாம்.



படம் 27

$$n = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}$$

ஆகையால், இசைக்கவட்டின் அதிர்வெண்ணைப் பின்வருமாறு குறிக்கலாம்.

$$N = 2n$$

$$= 2 \times \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}$$

$$= \frac{1}{l}\sqrt{\frac{T}{m}}$$

இந்த முறையில் நூலை அலையவிட்டு, முன்போலவே இசைக் கவட்டின் அதிர்வெண், திடப்பொருளின் ஒப்படர்த்தி, திரவப் பொருளின் ஒப்படர்த்தி முதலியவற்றைக் கண்டுபிடிக்கலாம்.

நிலையான குறுக்கலைவுகளின் விதிகளை நிரூபப்படுத்துதல்: மெல்டே கம்பியைப் பயன்படுத்தி நிலையான குறுக்கலைவு விதிகளை நிரூபப்படுத்தலாம்.

(a) முதல் விதி : முதல் விதியின்படி $n \propto \frac{1}{l}$. அல்லது $nl = k$ (மாறிலி). மெல்டே கம்பி ஏற்பாட்டில், ஒரே கம்பியை ஒரே பிகுவில் வைத்துக்கொண்டு, ஒரு குறிப்பிட்ட இசைக் கவட்டிற்கு நீளத்தை மாற்றி இரட்டைப் படை வளைமங்கள் ஏற்படும்படி செய்யவேண்டும். ஒரு வளைமத்தின் நீளத்தை அளந்து, இசைக்கவட்டின் அதிர்வெண் n_1 என்றால் கம்பியின் ஒரு வளைம நீளம் l_1 என்று குறித்துக்கொள்ள வேண்டும். பிறகு இசைக் கவட்டை மாற்றி முன்னிருந்ததைவிட அதிர்வெண் பாதியாக இருக்கும்படி செய்தால், அதே நீள நூலுக்கு வளைமங்களின் எண்ணிக்கையும் பாதியாவதைக் காணலாம். அதாவது, ஒரு வளைமத்தின் நீளம் இருமடங்காவது புலப்படும். இப்பொழுது இசைக்கவட்டின் அதிர்வெண் n_2 என்றும் ஒரு வளைமத்தின் நீளம் l_2 என்றுமானால், $n_1 l_1 = n_2 l_2$. இதனின்றும் முதல் விதி ருசுவாகின்றது.

(b) இரண்டாம் விதி : இரண்டாம் விதியின்படி $n \propto \sqrt{T}$. அல்லது $n^2/T = k$ (மாறிலி). இந்தப் பரிசோதனையில் நூல், அதன் நீளம் இரண்டும் மாறக்கூடாது. ஒரே இசைக்கவடுதான் பயன்படுத்தப்படவேண்டும். பிகுவை மெதுவாகச் சீர் செய்து, பிகு T_1 என்றிருக்கும்பொழுது நூல் எத்தனை வளைமங்களில் அலைவுறுகின்றது என்று கவனிக்க வேண்டும். 3 வளைமங்கள் இருப்பதாக வைத்துக்கொள்வோம். ஒரு வளைமத்தின் நீளம், நூலின் நீளத்தில் மூன்றிலொரு பங்காகும். நூலின் நீளம் L என்றால், ஒரு வளையின் நீளம் $l_1 = \frac{L}{3}$. இசைக் கவட்டின் அதிர்வெண் மாறுமலிருப்பதால், $\frac{L}{3}$ செ.மீ. நீளமுள்ள நூலின் மூலச் சுருதியின் அதிர்வெண் இசைக்கவட்டின் அதிர்வெண்ணுக்குச் சமமாகிறது. அதாவது $n = \frac{L}{3}$. இது போலவே (எடைத்தட்டிலுள்ள நிறையை மாற்றி) நூலின் இழுவிசையை T_2, T_3 என்று மாற்றி நூலை 4, 5 வளைகளில் அலைவுறச் செய்தால், ஒற்றை வளையின் நீளம் $\frac{L}{4}$, $\frac{L}{5}$ ஆகும். $\frac{L}{4}$, $\frac{L}{5}$ நீளங்களுள்ள நூலின் மூலச்சுருதியின் அதிர்வெண் n-க்குச் சமமாகும். அளக்கப்பட்ட பிகுக்களையும், வளைம நீளங்களையும் கீழ்க்கண்ட அட்டவணையில் குறிக்கலாம். கடைசி வரிசையிலுள்ள எண் சமமாக இருக்கும். எனவே $9T_1 = 16T_2 = 25T_3$. இதிலிருந்து இரண்டாம் விதியும் உண்மையென்று புரிகிறது.

நெ.	பிகு (T)	வளைமங்களின் எண்ணிக்கை N	ஒரு வளைமத்தின் நீளம் $l = L/N$	$\frac{\sqrt{T}}{l}$	T/l^2
1	T_1	3	$L/3$	$\sqrt{T_1}/\frac{L}{3}$	$9.\frac{T_1}{L^2}$
2	T_2	4	$L/4$	$\sqrt{T_2}/\frac{L}{4}$	$16.\frac{T_2}{L^2}$
3	T_3	5	$L/5$	$\sqrt{T_3}/\frac{L}{5}$	$25.\frac{T_3}{L^2}$

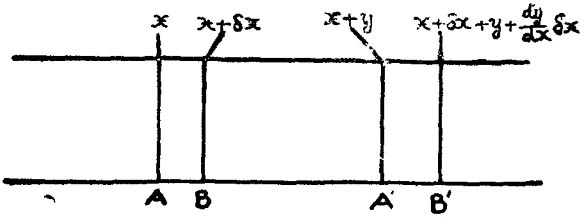
மூன்றும் விதி: இதன்படி $n \propto \frac{1}{\sqrt{m}}$. அல்லது $n^2m = k$ (மாறிலி). இப் பரிசோதனையில் ஒன்றன்பின் ஒன்றாக வெவ்வேறான நெடுக்கை அடர்த்தியுள்ள மூன்று நூல்களை உபயோகிக்க வேண்டும். இசைக்கவடு, பிகு, நூலின் நீளம் இம் மூன்றும் மாறாம லிருக்க வேண்டும். மூன்று நூல்களும் ஒரே பொருளாலாகி, முதல் நூலில் ஓர் இழை, இரண்டாவது நூலில் நான்கு இழை, மூன்றாவது நூலில் ஒன்பது இழை இருக்கட்டும். இரண்டாவது, மூன்றாவது நூல்கள், முதல் நூலைவிட இரண்டு மடங்கு, மூன்று மடங்கு வளைகளில் அலைவுறும். அல்லது வளைகளின் நீளம் பாதி யாகவும், மூன்றிலொரு பங்காகவும் இருக்கும். இதிலிருந்து, நெடுக்கை அடர்த்தி 4 மடங்காகவும், 9 மடங்காகவும் ஆகும் பொழுது, வளைநீளம் பாதியாகவும், மூன்றிலொரு பங்காகவும் மாறுகிறது.

$$m_1 : m_2 : m_3 \;::\; 1 : 4 : 9$$
$$l_1 : l_2 : l_3 \;::\; 1 : \tfrac{1}{2} : \tfrac{1}{3}$$

ஆகையால், $m_1 l_1^2 = m_2 l_2^2 = m_3 l_3^2$. இதிலிருந்து மூன்றாவது விதியும் ருசுவாகின்றது.

திட, திரவப் பொருள்கள்–நெட்டலை அதிர்வுகள்: திட, திரவப் பொருள்களில் நெட்டலைகள் எவ்வளவு வேகமாகப் பரவுகின்றன வென்பதை இப்பொழுது கவனிப்போம். இரு பொருள்களுக்குமே ஒரே வழியைப் பின்பற்றலாம். ஒலியைப் பரப்பும் இடைநிலைப் பொருளில் அலைகள் பரவும் திசையில் ஒரு சதுர செ.மீ. குறுக் களவுள்ள ஓர் உருளையைக் கற்பனை செய்வோம். மிக நெருக்க மாக இரண்டு அடுக்குகளைக் கவனிப்போம். A, B என்ற இந்த அடுக்குகளுக்கிடையேயுள்ள தூரம் δx என்று கொள்வோம். அலைகள் உருளையின் அச்சு வழியே செல்வதாக வைத்துக்

கொண்டால், அடுக்குகளிலுள்ள துகள்கள் X அச்சின் திசையில்



படம் 28

செல்லும். ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்தில் A என்னும் அடுக்கு அடையும் இடப்பெயர்ச்சி y தூரமாக இருக்கட்டும். அதே நேரத்தில் B என்னும் அடுக்குக்கு ஏற்படும் இடப்பெயர்ச்சியைப் பின்வருமாறு எழுதலாம்.

$$Y' = Y + \frac{dy}{dx}\delta x$$

A என்ற அடுக்கு A' என்ற இடத்திற்கும், B என்ற அடுக்கு B' என்ற இடத்திற்கும் நகர்ந்தால், $AA' = Y$; $BB' = Y'$. ஆரம்ப இடத்திலிருந்து A யின் தூரம் x என்றால், B யின் தூரம் $(x+\delta x)$ ஆகும். அதுபோலவே A'-ன் தூரம் $= (x+y)$; B'ன் தூரம் $= (x + \delta x + y') = (x + \delta x + y + \frac{dy}{dx}\delta x)$. எனவே, A, B என்ற அடுக்குகளுக்கிடையேயுள்ள தூரம் $= (x+\delta x) - x = \delta x$. AB-என்ற பாகத்தின் பருமன் $= \delta x \times 1 = \delta x$ க.செ.மீ. அதுபோலவே $A'\ B'$ என்ற பாகத்தின் பருமன்

$$= [(x + \delta x + y + \frac{dy}{dx}\delta x) - (x+y)] \times 1$$

$$= [dx + \frac{dy}{dx}\delta x] \times 1$$

$$= (dx + \frac{dy}{dx} \cdot \delta x).$$

குறிப்பாகக் கவனிக்கும்பொழுது A, B என்ற இடங்களிலுள்ள அடுக்குகள் இடப்பெயர்ச்சி அடைவதின் விளைவு AB என்ற பகுதி விரிவடைவதுதான் என்று விளங்குகிறது. இவ் விரிவுக்குக் காரணம் A என்ற அடுக்கின்மேலேற்படும் அழுத்தத்தை விட, B என்ற அடுக்கின்மேலேற்படும் அழுத்தம் அதிகமாக இருப்பதால்தான். மேலும்,

ஊடகப் பொருளின் மீட்சிக் குணகம் $= \dfrac{\text{தகைவு (stress)}}{\text{திரிபு (strain)}}$

$= \dfrac{\text{அழுத்த மிகுதி}}{\text{திரிபு}}$

பரும அதிகரிப்புக்கும் ஆரம்பப் பருமனுக்குமிடையேயுள்ள விகிதம் தான் திரிபு என்பது நமக்கு முன்பே தெரியும்.

$$\text{ஆகவே,}\quad \text{திரிபு} = \frac{dx + \frac{dy}{dx}\,\delta x - dx}{\delta x}$$

$$= \frac{dy}{dx}$$

$$\text{ஆகையால் மீட்சி } E = \frac{\delta p}{dy/dx}$$

$$\therefore \quad \delta p = \frac{dy}{dx}\,.\,E$$

AB-யிலிருந்து, $A'B'$-க்கு மீட்சி விரிவடைவதற்குச் செலவாகும் ஆற்றல் $= \frac{1}{2} \times$ தகைவு $\times$ திரிபு (ஒரு க.செ.மீ.-க்கு)

$$= \frac{1}{2}\cdot\delta p\left(\frac{dy}{dx}\right) \quad \text{(ஒரு க. செ.மீ.-க்கு)}$$

$$= \frac{1}{2}\cdot\delta p\left(\frac{dy}{dx}\right)\delta x.$$

$$= \frac{1}{2}.E.\left(\frac{dy}{dx}\right)\left(\frac{dy}{dx}\right)\delta x$$

$$= \frac{1}{2}.E.\left(\frac{dy}{dx}\right)^2.\,\delta x$$

$$= \frac{1}{2}.E.\delta x\left(\frac{dy}{dx}\right)^2.$$

செலவிடப்பட்ட இந்த ஆற்றல், $A'\,B'$ என்ற பகுதியில் நிலை ஆற்றலாக (potential energy) அமைகிறது. துகள்கள் தங்களது பழைய நிலைக்குத் திரும்பும்பொழுது இந்நிலை ஆற்றல், இயக்க ஆற்றலாக மாறுகிறது. சமநிலையில் இயக்க ஆற்றல்

$$= \frac{1}{2}\,(\text{துகளின் எடை}) \times (\text{சமநிலை திசைவேகம்})^2$$

$$= \frac{1}{2}\,(\rho\,\delta x)\left(\frac{dy}{dt}\right)^2.$$

$$\therefore \frac{1}{2}\,(E.\,\delta x)\left(\frac{dy}{dx}\right)^2 = \frac{1}{2}\,(\rho.\,dx)\left(\frac{dy}{dt}\right)^2$$

$$\text{அல்லது,}\quad \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 = \frac{E}{\rho}\left(\frac{dy}{dx}\right)^2 \quad\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(1)$$

ஆனால், முதல் அத்தியாயம் 7 (vi)-ம் பகுதியில் நாம் கண்டுள்ளது,

$$\left(\frac{dy}{dt}\right) = -C\left(\frac{dy}{dx}\right)$$

$$\therefore \quad \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 = C^2\left(\frac{dy}{dx}\right)^2 \quad \ldots\ldots(2)$$

ஆகையால் $C^2 = \frac{E}{\rho}$

$$C = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

இந்தச் சமன்பாடு திடப்பொருள், திரவப்பொருள் இரண்டுக்குமே பொருந்தும். இனி திடப்பொருள், திரவப்பொருள் இவற்றிற் கேற்றுற்போல் சமன்பாட்டை மாற்றி அமைத்துக்கொள்ளல் வேண்டும்.

திடப்பொருளும் நெட்டலைவுகளும்: திடப்பொருள்களில் ஏற் படும் தகைவுகளும் திரிபுகளும், நீட்சித் தகைவு, நீட்சித் திரிபு களாகும். ஆதலால் E என்பது மீட்சிக் குணகமாகும் ($E = q$).

$$\therefore \quad C = \sqrt{\frac{q}{\rho}}$$

வாயுப்பொருள்களும் நெட்டலைவுகளும்: இவற்றிலேற்படும் திரிபு பருமனைப் பாதிப்பதால், E என்பது பருமக் குணகமாகும் ($E=k$).

$$\therefore \quad C = \sqrt{\frac{k}{\rho}}$$

நியூட்டனின் வாய்பாடு (Newton's Formula): வாயுப்பொருள் களில் நெட்டலைவு அலைகள் பாய்வதாலேற்படும் அழுத்த-பரும மாறுதல்கள் சமவெப்ப நிலையிலேற்படுவதாக நியூட்டன் கருதினர். அதனல் இம்மாறுதல்களில் சமவெப்பநிலை சமன்பாடு ஆதிக்கம் செலுத்த வேண்டும்.

$$\therefore \quad PV = k \text{ (மாறிலி)}$$

இதைப் பகுத்தால்,

$$P.\,\delta V + V.\,\delta P = O$$

$$P = -\frac{V.\,\delta P}{\delta V}$$

$$= -\frac{\delta P}{\delta V/V} = \frac{\text{தகைவு}}{\text{திரிபு}}$$

$$= k.$$

$$\therefore \quad C = \sqrt{\frac{P}{\rho}}$$

திட்ட அழுத்த நிலையிலுள்ள காற்றை எடுத்துக்கொண்டோமானால் $P = 76 \times 13{\cdot}6 \times 980$ டைன்/ச. செ.மீ.

$$\rho = 1{\cdot}293 \text{ கி/லிட்டர்}$$

$$\therefore \quad C = \sqrt{\frac{76 \times 13{\cdot}6 \times 980 \times 1000}{1{\cdot}293}}$$

$$= 27990 \text{ செ.மீ./செ.}$$

திட்ட வெப்ப-அழுத்த நிலைகளில் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட ஒலி வேகம் சுமார் 330 மீ/செ. ஆகவே, சமவெப்பநிலை மாறுதல்கள் சரியா என்பதில் ஐயமேற்பட்டது.

லாப்ளாசின் திருத்தம் (Laplace's correction): நியூட்டன் சொன்ன கருத்தை லாப்ளாஸ் ஏற்றுக்கொள்ளவில்லை. நெட்டலைகள் வாயுப்பொருள் வழியே வெகு வேகமாகச் செல்கின்றனவென்றும், அப்பொழுது பரும-அழுத்த மாறுதல்கள் சமவெப்ப நிலையில் நிகழ முடியாதென்றும் அவர் வாதிட்டார். அந்தக் குறுகிய நேரத்தில் வாயுப்பொருள் வெளியிடத்துடன் வெப்பத்தைப் பரிமாறிக்கொள்ள முடியாதென்றும், ஆகையால் பரும-அழுத்த மாற்றம் வெப்பமாறு (adiabatic) நிலையிலேற்படவேண்டுமெனவும் கூறினர். அதன்படி,

$$PV^{\gamma} = k \quad (\text{மாறிலி})$$

இதைப் பகுத்தால்,

$$\gamma . P . V^{\gamma - 1} \delta V + V^{\gamma} \delta P = 0$$

$$\therefore \quad \gamma P = -\frac{V . \delta P}{\delta V} = -\frac{\delta P}{\delta V / V} = -k.$$

$$\therefore \quad C = \sqrt{\frac{\gamma . P}{\rho}}$$

திட்ட வெப்ப-அழுத்த நிலையில் $\gamma = 1{\cdot}4$

$$\therefore \quad C = \sqrt{\frac{76 \times 13{\cdot}6 \times 980 \times 1{\cdot}4 \times 1000}{1{\cdot}293}}$$

$$= 331{\cdot}1 \text{ மீ/செ.}$$

இந்த மதிப்புப் பரிசோதனையின்மூலம் கிடைத்த 330 மீ./செ. என்ற மதிப்புக்கு ஒட்டியிருப்பதால், வெப்பமாறு பரும-அழுத்த மாறுதலில் நம்பிக்கையுண்டாயிற்று. திடப்பொருள்களிலுங்கூட பரும-அழுத்த மாறுதல்கள் வெப்பமாறு நிலையில் ஏற்படுகின்றன வென்றுதான் கொள்ள வேண்டும்.

ஒலிவேகம்—வெப்பம், அழுத்தம், ஈரப்பதன் முதலியன

(i) அழுத்தத்தின் விளைவு : பாயில் (Boyle) விதியின்படி வெப்பநிலை மாறுதிருக்கும்பொழுது $\frac{P}{\rho}$-வின் மதிப்பும் மாறாது. அப்பொழுது வாயுப்பொருள்களில் ஒலியின் வேகம் அழுத்தத்தால் பாதிக்கப்படாது. எனவே. அழுத்த மாற்றங்களால் ஒலிவேகத்தின்மீது எந்த விளைவும் கிடையாது.

(ii) வெப்ப நிலையின் விளைவு :

$$\therefore \quad C = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}}$$

வாயுவின் சுட்டுப் பருமனை (Specific Volume) V என்று வைத்துக் கொண்டால், அதாவது ஒரு கிராம் வாயுவின் எடை V என்றால்,

$$\rho = \frac{1}{V}$$

$$\text{அல்லது } V = \frac{1}{\rho}$$

$$\therefore \quad C = \sqrt{\gamma PV}.$$

வாயுவில் $t_1°$ செ. வெப்ப நிலையில் ஒலியின் வேகம், அழுத்தம், சுட்டுப் பருமன் முதலியன C_1, P_1, V_1 என்றும், $t_2°$ செ. வெப்ப நிலையில், இவை C_2, P_2, V_2 என்றும் இருந்தால்,

$$C_1 = \sqrt{\gamma . P_1 V_1}$$

$$C_2 = \sqrt{\gamma P_2 V_2}$$

$$\text{அல்லது } \frac{C_1}{C_2} = \sqrt{\frac{P_1 V_1}{P_2 V_2}}$$

$t_1°$ செ, $t_2°$ செ. வெப்ப நிலைகளின் தனி வெப்பநிலை மதிப்புகள் (Absolute temperatures) (T_1°A, T_2°A-ஆனால்,

$$P_1 V_1 = RT_1$$

$$P_2 V_2 = RT_2$$

$$\text{ஆகவே, } \frac{C_1}{C_2} = \sqrt{\frac{RT_1}{RT_2}}$$

$$\text{அல்லது } \frac{C_1}{C_2} = \sqrt{\frac{273 + t_1}{273 + t_2}}$$

இதுபோலவே 0° செ., t° செ. வெப்ப நிலைகளில் ஒலியின் வேகங்கள் C_0, C-என்று குறிப்பிடப்பட்டால்,

$$\frac{C}{C_0} = \sqrt{\frac{273+t}{273}}$$

$$\therefore \quad C = C_0 \left(1+\frac{t}{273}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$= C_0 \left(1+\frac{t}{546}\right)$$

0° செ. வெப்பநிலையில் ஒலியின் வேகம் 330 மீ./செ. என வைத்துக் கொண்டால் $\frac{330}{546}$ = ·6 மீ /செ. ஆகையால், ஒலியின் வேகம் ஒரு டிகிரி சென்டிகிரேட் வெப்பநிலை அதிகரிப்புக்கு ஒரு விநாடிக்கு ·6 மீட்டர் வீதம் அதிகரிக்கின்றது. ஆனால், பாயில் விதி எந்த வெப்பநிலைகளுக்குப் பொருந்துமோ, அந்த நிலைகளுக்குத்தான் இந்தக் கணக்கீடுகளும் பொருந்தும் என்பதை நாம் மனத்தில் கொள்ள வேண்டும்.

(iii) ஈரப்பதனின் (humidity) விளைவு: ஈரமோ நீராவியோ கலந்திருந்தால் காற்றின் அடர்த்தி குறைகின்றது. ஏனென்றால், நீராவியின் அடர்த்தி காற்றின் அடர்த்தியைவிட மிகக் குறைவாயுள்ளது. ஒரே வெப்பநிலை, ஒரே அழுத்தநிலை இவற்றில் நீராவியின் ஒப்படர்த்தி 0·62

C, P, ρ இவை மூன்றும் ஈரமற்ற காற்றில் ஒலிவேகம், காற்றழுத்தம், காற்றடர்த்தியாகுமானால்,

$$C = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}}.$$

அதுபோலவே C_1, P, ρ_1 இவை மூன்றும் ஈரக்காற்றில் ஒலி வேகம், காற்றழுத்தம், காற்றடர்த்தியாகுமானால்,

$$C_1 = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho_1}}.$$

P அளவு அழுத்தம் உள்ள ஈரக்காற்றில் இருக்கும் நீராவியின் அழுத்தம் p என்று வைத்துக்கொள்வோம். அப்பொழுது ஈரமற்ற காற்றின் அழுத்தம் மாத்திரம் $(P-p)$ ஆகும். ஆகையால், ஒரு கன சென்டி மீட்டர் பருமன் ஈரக்காற்றிலுள்ள ஈரமற்ற காற்றின் அழுத்த விகிதம் $= \frac{P-p}{P}$. அதுபோலவே ஈரக்காற்றின் அழுத்த விகிதம் $= \frac{p}{P}$. ஆகையால், ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்பநிலையில், ஒரு கன சென்டிமீட்டர் பருமன் ஈரக்காற்றின் எடை

$$= \frac{P-p}{P}\rho + \frac{p}{P} \times \cdot 62\,\rho$$

அதாவது.

$$\rho_1 = \frac{P-p}{P}\rho + \frac{p}{P} \times \cdot 62\rho$$

$$= \frac{P-\cdot 38p}{P}\rho.$$

$$\therefore \frac{\rho_1}{\rho} = \frac{P-\cdot 38p}{P}.$$

$$\therefore \frac{C}{C_1} = \frac{\sqrt{\gamma P/\rho}}{\sqrt{\gamma P/\rho_1}}$$

$$= \sqrt{\frac{\rho_1}{\rho}}$$

$$= \sqrt{\frac{P-\cdot 38p}{P}}.$$

காற்றிலுள்ள ஈரத்தின் அழுத்தம், பனி நிலையில் காற்றிலுள்ள நீராவியின் அழுத்தத்திற்குச் சமமாகையால், பரிசோதனையின் போதுள்ள வெப்ப நிலையில் பனி நிலையைக் கண்டுபிடித்து, அதனின்றும் p-யின் மதிப்பைக் கணக்கிடலாம்.

வாயுத் தம்பங்களின் அலைவுகள் (Vibrations of gas columns) : ஒரு பக்கம் மூடப்பட்ட ஒரு தகரக் குழாயையோ அல்லது கண்ணாடிக் குழாயையோ (படம் 29-i) செங்குத்தாக நிறுத்தினால், அதில் காற்று நிறைந்திருக்கிறது. இக் காற்று மண்டலத்தைக் காற்றுத் தம்பம் எனலாம். இதுபோல் குழாயில் காற்றுக்குப் பதில் ஏதாவது ஒரு வாயுவை நிரப்பினால் குழாயிலிருப்பது வாயு மண்டலமாகும். ஓர் இசைக் கவட்டைத் தட்டிக் குழாயின் வாயில் வைத்தால் வாயுத் தம்பம் அலைவுறும். நெட்டலைவு தொடரலைகள் குழாயிலிருந்து கீழே சென்று மூடப்பட்ட பக்கத்தில் எதிரொலித்து, மேலே தொடர்ந்து செல்கின்றன. கீழே செல்லும் அலைகளும் மேலே வரும் அலைகளும் சந்தித்து நிலை அலைகள் உண்டாகின்றன. கணுக்கள், அதாவது பெரும அழுத்த மாறுதலும், இடப்பெயர்ச்சி இல்லாமலுமுள்ள இடங்கள் ஏற்படுகின்றன. இதுபோன்ற இரண்டு அடுத்தடுத்த கணுக்களுக்கிடையேயுள்ள தூரம் அரை அலை நீளமாகும். இவ்விடங்களில் அடர்த்தியும், தளர்த்தியும் மாறிமாறி ஏற்படுகின்றன. ஆனால், இங்குள்ள துகள்கள் நகருவதேயில்லை. எதிர்க் கணுக்கள், அதாவது பெரும

இடப் பெயர்ச்சியும், அழுத்த மாறுதலில்லாமலும் உள்ள இடங்களும் ஏற்படுகின்றன. ஒவ்வோர் எதிர்க்கணுவிற்கும் அதற்குப் பக்கத்திலுள்ள கணுவிற்குமிடையேயுள்ள தூரம் கால் அலை நீளமாகும்.

ஒரு பக்கம் மூடப்பட்ட குழாய் (Closed pipe): மூடப்பட்ட பக்கத்தில் உள்ளழுத்தத்தால் துகள்கள் துடிப்பதனின்றும் தடுக்கப்படுகின்றன. ஆகையால், மூடப்பட்ட பக்கத்தில் எப்பொழுதும் கணுதான் இருக்கும். திறந்த பக்கத்திலோ அல்லது அதற்குச் சற்றுத் தள்ளியோ துகள்கள் தன்னிச்சையாக இயங்குவதற்கு எந்தத் தடையுமில்லை. துகள்கள் நகரும்பொழுது அழுத்த மாறுதல் ஏற்பட்டால் காற்றில் பக்கத்திலுள்ள துகள்கள் நகர்ந்து சென்று அழுத்தக் குறைவைப் பூர்த்திசெய்கின்றன. ஆகையால், அழுத்த மாறுதல்கள் ஏற்படுவதற்குக் காரணமுமில்லை. எனவே, திறந்த பக்கம் எப்பொழுதும் எதிர்க்கணுவாகத்தானிருக்கும். குழாயிலுள்ள வாயுமண்டலத்தின் சுய அதிர்வெண்ணும், ஒலியை இயக்கும் இசைக்கவட்டின் அதிர்வெண்ணும் சமமாக இருந்தால் ஒத்திசைவு (resonance) ஏற்படும். இசைக்கவட்டின் ஒலி, வாயுத் தம்பத்தின் ஒத்திசைப்பால் பெருக்கப்பட்டு நன்றுகக் கேட்கும்.

வாயுத் தம்பம் எளிய வகையில் அலைவுறும்பொழுது மூடப்பட்டுள்ள பக்கத்தில் ஒரு கணுவும், திறந்திருக்கும் பக்கத்தில் ஓர் எதிர்க்கணுவும் இருக்கும். இடையே கணுவோ எதிர்க்கணுவோ இருக்காது. குழாயின் நீளம் கால் அலை நீளத்திற்கு ஒப்பாகும் (படம் 29-i). குழாயின் நீளம் $= l$; இசைக்கவட்டின் அதிர்வெண் $= n$; ஒலி வேகம் $= C$.

$$l = \frac{\lambda}{4}$$

$$\lambda = 4l.$$

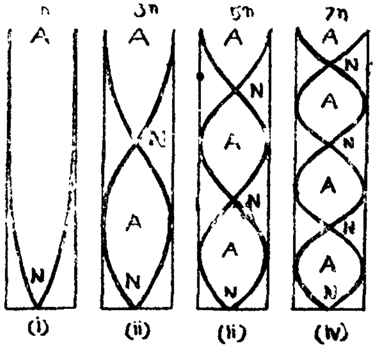
$$C = n\lambda$$

$$= 4nl$$

$$n = \frac{C}{4l}$$

எழுப்பப்படும் ஒலியின் செறிவு (intensity) பெரும நிலையில் (maximum) இருக்கும்; ஆனால், ஒலியின் அதிர்வெண்ணே சிறுமநிலையில் (minimum) இருக்கும். ஆகையால், இந்த அதிர்வெண் முதல் சுரம் அல்லது மூல சுரம் (fundamental tone or fundamental) என்று அழைக்கப்படுகிறது.

மூல சுரத்துடன், வேறு அதிர்வெண்களுடைய பிற சுரங்களும் எழுகின்றன. இவற்றிற்கு மேல் சுரங்களென்று பெயர். படம்29 (ii)–ல், குழாயின் மூடிய பக்கத்தில் ஒரு கணுவும்,



படம் 29

திறந்த பக்கத்தில் ஓர் எதிர்க்கணுவும், இவ்விரண்டிற்குமிடையே ஒரு கணுவும் ஓர் எதிர்க்கணுவும் உள்ளன. இப்பொழுது குழாயின் நீளம் l, ஒலியின் முக்கால் அலை நீளத்திற்குச் சமமாகிறது. அலை நீளம் மாறுவதால் அதிர்வெண்ணும் மாறுகின்றது. புது அதிர்வெண் n_1 என்றால்,

$$l = \frac{3\lambda_1}{4}$$

$$\lambda_1 = \frac{4}{3}l$$

$$C' = n_1 \lambda_1$$

$$= n_1 \times \frac{4}{3}l$$

$$n_1 = 3 \cdot \frac{C}{4l}$$

$$= 3n.$$

மேல் சுரத்தின் அதிர்வெண் மூல சுரத்தின் அதிர்வெண்ணைவிட மூன்று மடங்கு அதிகரித்துள்ளது. இதுபோலவே மூன்றாவது (படம் 29-iii), நான்காவது (படம் 29-iv) வகை அலைவுகளில் குழாயின் நீளம் ஒன்றேகால் ($\frac{5}{4}\lambda_2$), ஒன்றே முக்கால் ($\frac{7}{4}\lambda_3$) அலை நீளங்களுக்குச் சமமாக இருக்கும். அலைநீளம் குறைந்து கொண்டே போகின்றது. ஆகையால், அதிர்வெண் அதிகரித்துக் கொண்டே போகும். இங்கு மூன்றாவது அலைவுகளில் மேல் சுரத்தின் அதிர்வெண் மூல சுரத்தின் அதிர்வெண்ணைவிட ஐந்து

மடங்கும், நான்காவது அலைவுகளில் மேல் சுரத்தின் அதிர்வெண் மூல சுரத்தின் அதிர்வெண்ணைவிட ஏழு மடங்கும் அதிகமாக இருக்கும். மேல்சுரங்களின் அதிர்வெண்கள் மூல சுரத்தின் அதிர் வெண்ணைவிட ஒற்றைப்படை மடங்குகள் (odd multiples) அதிக மாக இருக்கின்றன. மேல்சுரங்களின் ஒலிச் செறிவு போகப் போகக் குறைந்துகொண்டுதான் போகும். இருந்தபோதிலும், இச் சுரங்கள் ஒலியின் சுரப் பண்பை (quality or timbre) அதிகப் படுத்துகின்றன.

திறந்த குழாய் (Open pipe): குழாயின் இருபுறங்களும் திறந்திருந்தால் குழாய்க்குத் திறந்த குழாய் (open pipe) என்று பெயர். குழாயின் இரு புறங்களும் திறந்திருப்பதால், திறந்த பக்கங்களிரண்டும் எதிர்க்கணுவாகவிருக்கும். அடுத்தடுத்த எதிர்க் கணுக்களுக்கிடையே கட்டாயம் ஒரு கணு இருந்தாக வேண்டும். எனவே, திறந்த குழாயில் வாயுத் தம்பம் எளிய முறையில் அலைவுறும்பொழுது, அதாவது மூல சுரத்தை யெழுப்பும்பொழுது, ஒவ்வொரு திறந்த பக்கத்தில் ஓர் எதிர்க்கணுவும், குழாயின் நடுவில் ஒரு கணுவும் இருக்கும். குழாயின் நீளத்தில் (l) இப் பொழுது அரை ஒலி அலை அடங்கியுள்ளது. மூல சுரத்தின் அதிர்வெண் n-என்றும், அலைநீளம் λ-என்றும் வைத்துக் கொண்டால்,

$$l = \frac{\lambda}{2}$$

$$\lambda = 2l$$

$$C = n\lambda$$

$$= 2nl$$

$$n = \frac{C}{2l}$$

முன்போலவே இப்பொழுதும் மூல சுரத்துடன் மேல்சுரங் களும் ஒரே சமயத்தில் எழுகின்றன. படம் 30-(ii)-ல் குழாயின் இரு திறந்த பக்கங்களில் இரண்டு எதிர்க்கணுக்களும், இடையே இரண்டு கணுக்களும் ஓர் எதிர்க்கணுவும் உள்ளன. இப்பொழுது குழாயின் குறிப்பிட்ட நீளத்தில், ஒரு முழு அலை நீளம் அடங்கி யுள்ளது. புதிய அதிர்வெண், அதாவது முதல் மேல்சுரத்தின் அதிர்வெண், n_1 என்றால்

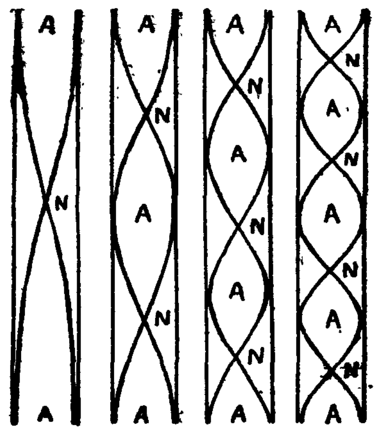
$$l = \lambda_1$$

$$C = n_1 \lambda_1$$

$$= n_1 l$$

$$n_1 = \frac{C}{l}$$
$$= 2n.$$

மேல்சுரத்தின் அதிர்வெண், மூல சுரத்தின் அதிர்வெண்ணைவிட இரண்டு பங்கு அதிகரித்துள்ளது. இதுபோலவே மூன்றுவது (படம் 30-iii), நான்காவது (படம் 30-iv) அலேவுகளில் குழாயின் நீளத்தில் $1\frac{1}{2}$, இரண்டு அலே நீளங்கள் அடங்குகின்றன. இரண்டாவது மேல்சுரத்தின் அதிர்வெண் (n_2) மூல சுரத்தின் அதிர்வெண்ணைக் காட்டிலும் மூன்று மடங்குகளும், மூன்றுவது மேல்சுரத்தின்



படம் 30

அதிர்வெண் (n_3) மூல சுரத்தின் அதிர்வெண்ணைவிட நான்கு மடங்குகளும் அதிகமாக உள்ளன. இங்கு மேல்சுரங்களின் அதிர்வெண்கள் மூல சுரத்தின் அதிர்வெண்ணைவிட முழு எண் மடக்கையில் (integral multiple) இருக்கின்றன. இந்த மேல்சுரங்களும் ஒலியின் சுரப்பண்பை அதிகப்படுத்துகின்றன.

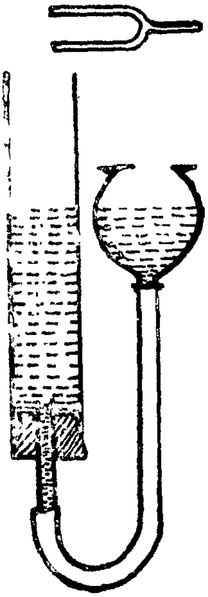
முனைத்திருத்தம் (End Correction): இதுவரை குழாயின் திறந்த முனையில் எப்பொழுதும் எதிர்க்கணுதான் இருக்க வேண்டுமென்று வற்புறுத்தி வந்தோம். ஆனால், உண்மையில் அது சரியன்று. எதிர்க்கணு திறந்த முனையிலிருந்து எப்பொழுதுமே சற்று வெளியே தள்ளித்தான் இருக்கிறது. இவ்வுண்மை பரிசோதனை மூலமும் உறுதி செய்யப்பட்டுள்ளது. ராலே பிரபு (Lord Rayleigh), திறந்த முனைக்கும் அதற்கு வெளியே தள்ளியிருக்கும் எதிர்முனைக்கும் இடையேயுள்ள தூரம் குழாயின் விட்டத்தில் 0·3 பங்கு என்று காண்பித்துள்ளார். ஆகையால்,

குழாயின் நீளம் l என்றும், விட்டம் d என்றும் எடுத்துக் கொண்டால், அலைநீளத்தைக் கணக்கிட, குழாயின் நீளத்துடன் சேர்க்கப்பட வேண்டிய அளவு, மூடப்பட்ட குழாய்க்கு $0{\cdot}3d$ என்றும், திறந்த குழாய்க்கு $0{\cdot}6d$ என்றும் கொள்ளல் வேண்டும். ஒவ்வொரு முனையிலும் சேர்க்கப்படவேண்டிய அளவிற்கு ($0{\cdot}3d$) முனைத்திருத்தம் என்று பெயர்.

வாயுவில் ஒலி வேகம்—ஒத்திசைத் தம்பம் பரிசோதனை

ஒரே அளவு விட்டமுள்ள நீண்ட கண்ணாடிக் குழாயொன்று, ஒரு ரப்பர்க் குழாயின் உதவி கொண்டு, ஒரு நீர்த்தேக்கி (reservoir) யுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ளது (படம் 31). இசைக்கவடு ஒன்றை இயக்கிக் கண்ணாடிக் குழாயின் வாயினருகே பிடித்துக்கொண்டு, நீர்த்தேக்கியை மெதுவாகத் தாழ்த்த வேண்டும். குழாயின் வாய்க்கும், குழாயிலுள்ள நீரின் மட்டத்திற்குமிடையேயுள்ள காற்று மண்டலத்தின் நீளம் அதிகரிக்கிறது. ஒரு கட்டத்தில் இசைக்கவட்டிற்கு இணைய காற்று மண்டலம் ஒத்திசைக்கின்றது. ஒத்திசை நிகழுவதற்கு வேண்டிய மிகச் சிறிய காற்றுத் தம்பத்தை அளக்கவேண்டும். இந்த நீளம் l_1 செ.மீ. ஆக இருக்கட்டும். முன்கூறியதுபோல் இந்த நீளத்தில் ஒரு கணுவும் ஓர் எதிர்க் கணுவும்தான் இருக்கும். கணு நீர்மட்டத்திலும், எதிர்க்கணு குழாயின் வாய்க்குச் சற்று மேலேயும் இருக்கும். முனைத்திருத்தம் e என்றால்,

$$l_1 + e = \frac{\lambda}{4} \qquad \ldots\ldots(1)$$

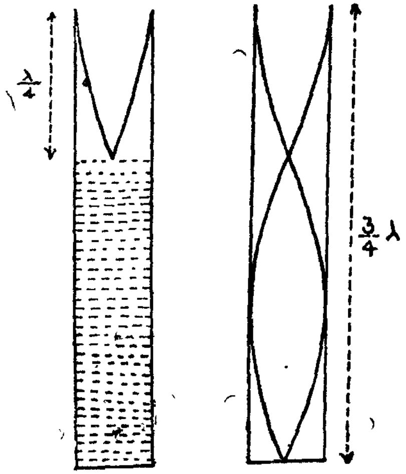


படம் 31

இப்பொழுது நீர்த்தேக்கியை இன்னும் தாழ்த்திக் கொண்டு போனால், மற்றொரு கட்டத்தில், அதாவது இப்பொழுதுள்ள காற்றுத் தம்பத்தின் நீளம் (l_2) முன்னைய நீளத்தை விட (l_1) சுமார் மூன்று மடங்கு அதிகமாக இருக்கும்பொழுது, மறுபடியும் ஒத்திசை ஏற்படும்; ஒலியின் செறிவு அதிகமாக இருக்கும். இப்பொழுது வாயுத் தம்பத்தில் இரண்டு கணுக்களும் இரண்டு எதிர்க்கணுக்களும் இருக்கும். வாயுத் தம்பத்தின் நீளம் (l_2) என்றால்,

$$l_2 + e = \tfrac{3}{4}\lambda \qquad \ldots\ldots(2)$$

இரண்டாவது சமன்பாட்டிலிருந்து முதற் சமன்பாட்டைக் கழித்தால்,



படம் 32

$$l_2 - l_1 = \frac{\lambda}{2}$$

i.e. $\lambda = 2(l_2 - l_1)$

இசைக்கவட்டின் அதிர்வெண் n-என்றால்,

$$C = n\lambda$$
$$= 2n(l_2 - l_1) \qquad ......(3)$$

மேலும், சமன்பாடுகள் (1)-யும், (2)-யும் கூட்டினால்,

$$l_1 + l_2 + 2e = \lambda$$

அல்லது $2e = [\lambda - (l_2 + l_1)]$

$$= 2(l_2 - l_1) - (l_2 + l_1)$$
$$= (l_2 - 3l_1)$$

ஆகையால், $e = \frac{1}{2}(l_2 - 3l_1) \qquad ......(4)$

சமன்பாடுகள் (3), (4) இவற்றிலிருந்து வாயுமண்டலத்தில் ஒலியின் வேகத்தையும், குழாயின் முனைத்திருத்தத்தையும் சுலபமாகக் கண்டுபிடிக்கலாம்.

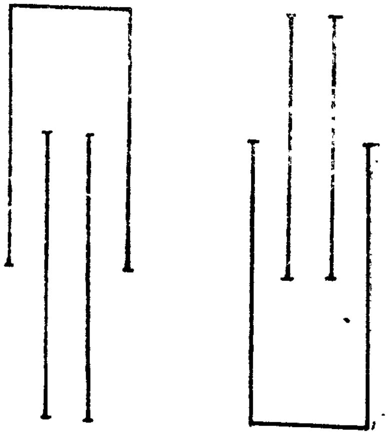
இதே பரிசோதனையை வேறு அதிர்வெண்களுடைய இசைக் கவடுகளைப் பயன்படுத்தி, ஒவ்வொன்றிற்கும் இரண்டு நீளங்களையும்

(l_1, l_2) கண்டுபிடித்து அவற்றைக் கீழ்க்கண்ட அட்டவணையில் குறிக்கவேண்டும். கடைசி இரண்டு வரிசைகளில் குறிக்கப்பட்டுள்ள

தெ	இசைக்கவட்டின் அதிர்வெண் (n)	l_1	l_2	$C=2n\ (l_2-l_1)$	$e=\frac{1}{2}\ (l_2-3l_1)$
1					
2					
3					
சராசரி மதிப்பு				$2n\ (l_2-l_1)$	$\frac{1}{2}\ (l_2-3l_1)$

எண்கள் தனித்தனியே சமமாக இருக்கும். அவற்றின் சராசரி மதிப்புகள் ஒலியின் வேகத்தையும், குழாயின் முனைத்திருத்தத்தையும் கொடுக்கும்.

சோதனை வாயுக்கள் நீரில் கரைவனவாக விருந்தால், ஒன்றனுள் ஒன்று நழுவும் இரண்டு குழாய்களைப் பயன்படுத்தலாம் (படம் 33). காற்றைவிட லேசான வாயுக்களுக்கு மூடிய பக்கம் மேலேயும் (33-i), காற்றைவிட கனமான வாயுக்களுக்கு மூடிய பக்கம் கீழேயும் இருக்க வேண்டும்.



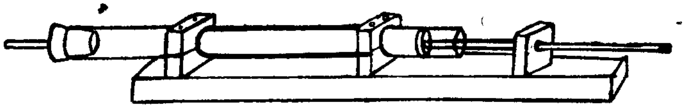
(i) (ii)

படம் 33

குண்ட் குழாய்—திட திரவப் பொருள்களில் ஒலியின் வேகம்

குண்ட் குழாய் என்பது 5 செ.மீ. விட்டமும் சுமார் 80 செ.மீ. நீளமும் உள்ள இரு புறமும் திறந்த ஒரு கண்ணாடிக் குழாயாகும். இதற்கு அலைக்குழாய் (wave-tube) என்று பெயர். ஒரு பக்கம் நகரக்கூடிய ஒரு ரப்பர் மூடியால் அடைக்கப்பட்டுள்ளது.

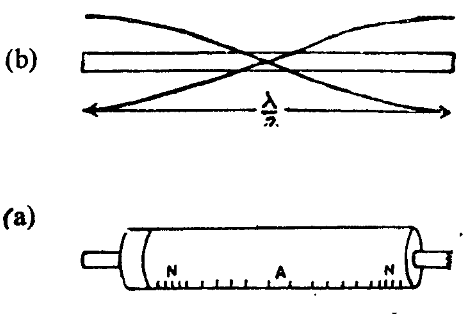
உலோகக் கம்பு (rod) ஒன்று குழாயினுள் நுழைக்கப்பட்டிருக்கிறது. குழாயினுள் உள்ள கம்பு முனையில் ஓர் எபொனைட் வில்லை (ebonite disc) இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. வில்லையின் விட்டம் குழாயின் விட்டத்தை விடச் சற்றுச் சிறியதாயிருக்கும்.



படம் 34

அப்பொழுது எபொனைட் வில்லை கண்ணாடிக் குழாயைத் தொடாமலிருக்கும். குழாயினுள் உள்ள கம்புக்கு, 'ஒலிக்கும் கம்பு' என்று பெயர். இது மையத்தில் உறுதியாகப் பிடிக்கப்பட்டிருக்க வேண்டும். குழாய் எப்பொழுதும் உலர்ந்திருக்க வேண்டும். அதனுள் லிகோபோடியம் (lycopodium) தூளையாவது அல்லது கார்க் தூளையாவது சீராகத் தெளிக்க வேண்டும்.

ஆல்கஹாலில் நனைத்த பஞ்சாலோ அல்லது ரோசனத்தூள் கொண்ட தோலாலோ, கண்ணாடிக் கம்பை நீளவாட்டத்தில் இழுத்தால், கத்தாமலோ அலறுமலோ அதிகமான சுருதியுள்ள ஒலி கேட்கும். கம்பிலே ஏற்படுத்தப்பட்ட நெட்டலைகள் எபொனைட் வில்லைக்கும் ரப்பர் மூடிக்கும் இடையேயுள்ள வாயுத் தம்பத்தில், நிலையான நெட்டலைகளை ஏற்படுத்துகின்றன. குழாயில் கணுக்களும் எதிர்க்கணுக்களும் தோன்றுகின்றன. லிகோபோடியம் துகள்கள் துடித்துத் துடித்துச் சில இடங்களில் குவியலாகச் சேர்கின்றன; சில இடங்களில் தூள்கள் விலகிச் செல்



படம் 35

கின்றன. குவியல் இருக்கும் இடங்களில் தூள்கள் அசைவதில்லை. எனவே, அவையெல்லாம் கணுக்களாகும். விலகிச் செல்லும் இடங்களில் துகள்கள் அதிகமாகத் துடிக்கின்றன. அவையெல்லாம்

எதிர்க்கணுக்கள். ரப்பர் மூடியைச் சற்று நகர்த்திக் கணுக்களும் எதிர்க்கணுக்களும் தெளிவாகத் தோன்றும்படி செய்யலாம். அப்பொழுது கம்பின் அதிர்வெண்ணும் குழாயிலுள்ள வாயுவின் அதிர்வெண்ணும் ஒன்றாகி ஒத்திசை நிகழும். அதனால்தான் ஒலி அதிகமாகிறது.

ஒலிக்கம்பு, மூல சுரத்தையெழுப்பும்பொழுது அதன் இரண்டு நுனிகளும் எதிர்க்கணுவாகின்றன. அசையாமலிருக்கும் மையம் கணுவாகிறது. (35-b). ஆகையால், அப்பொழுதும் கம்பின் நீளம் அரை ஒலி அலைக்குச் சமமாகிறது. ஆகையால், l என்பது கம்பின் நீளமாகவும், λ என்பது கம்பில் ஒலியின் அலை நீளமாகவும் இருந்தால்,

$$\lambda_s = 2l_s$$

மூல சுரத்தின் அதிர்வெண் n-என்றால், ஒலி வேகம்,

$$C_s = 2nl_s \qquad \ldots\ldots(1)$$

அதுபோலவே, l_g என்பது அலைக்குழாயில் இரண்டு குவியல்களுக்கிடையேயுள்ள தூரமென்றால், வாயு மண்டலத்தில் அலைநீளம் λ_g ஆயின்,

$$\lambda_g = 2l_g$$

$$\therefore \quad C_g = 2nl_g \qquad \ldots\ldots(2)$$

C_g என்பது வாயு மண்டலத்தில் ஒலியின் வேகமாகும். சமன்பாடு (1) ஐ (2)-ஆல் வகுத்தால்,

$$\frac{C_s}{C_g} = \frac{l_s}{l}$$

வாயு மண்டலத்தில் ஒலியின் வேகம் (C_g) தெரிந்திருந்தால், கம்பில் ஒலி வேகம் (C_s) என்னவென்பதைக் கண்டுபிடிக்கலாம்.

$$C_s = C_g \cdot \frac{l_s}{l_g}$$

திடப்பொருளின் மீட்சிக் குணகம் (Young's Modulus): இச்சோதனையிலிருந்து உலோகக் கம்பின் வெப்பமாறு மீட்சிக் குணகத்தையும் (adiabatic Young's modulus) கண்டுபிடிக்கலாம்.

$$C = \sqrt{\frac{q}{\rho}}$$

$$\therefore \quad q = Cs^2 \cdot \rho .$$

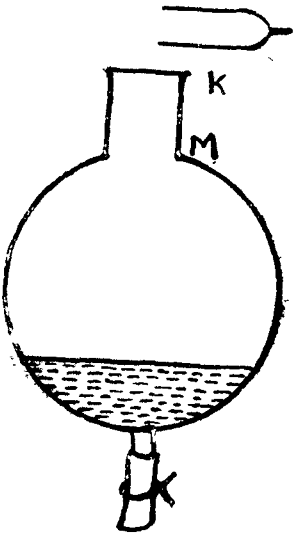
சோதனையில் பயன்படுத்தப்பட்ட உலோகக் கம்பில் ஒரு சிறு துண்டை எடுத்து அதன் நீளம், ஆரம், எடை முதலியவற்றைத் தனியே கண்டுபிடித்து, இவற்றினின்றும் உலோகத்தின் அடர்த்தியைக் (ρ) கணக்கிடவேண்டும்.

இந்தப் பரிசோதனைகளில் முக்கியமாகக் கவனிக்க வேண்டிய எச்சரிக்கைகளாவன: (1) ஒலிக்குழாயும் லிகோபோடியம் தூளும் முற்றிலும் உலர்ந்திருத்தல் வேண்டும். (2) உலோகக் கம்பு சரியான மையத்தில் உறுதியாகப் பிடிக்கப்பட்டிருக்க வேண்டும். அப்பொழுதுதான் குழாய் கத்தாமலும் கீச்சிடாமலும் இருக்கும். (3) எப்பொழுதும் வில்லைக்கும் மூடிக்குமிடையேயுள்ள தூரத்தில் ஒலியின் அரை அலை நீளங்கள் முழுமையாக இருத்தல் வேண்டும்.

லிகோபோடியம் தூள்கள் குவியல் குவியலாகச் சேருவதல்லாமல், ஒவ்வொரு குவியலிலும் வரிப்பள்ளங்கள் (striations) தோன்றும். இத் தோற்றத்திற்கும் பரிசோதனைக்கும் சம்பந்தமில்லை. ஆகையால், இதைப்பற்றி நாம் கவலைப்படவேண்டியதில்லை. நெட்டலை தகைவுகளுக்குள்ளாகும்பொழுது உருண்டை வடிவமுள்ள லிகோபோடியம் தூள்கள் விநோதமானதொரு சலனத்திற்குள்ளாவதே இதற்குக் காரணம்.

ஹெல்ம்ஹோல்ட்ஸ் ஒத்திசைவி (Helmholtz Resonator)

இக் கருவி ஹெல்ம்ஹோல்ட்ஸ் என்பவரால் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. இக் கருவிக்கு முக்கியமாக அதிக உள் பருமனும் குறுகிய கழுத்தும் இருக்க வேண்டும். இதனுள் இருக்கும் காற்றின் பருமனையும் மாற்றக்கூடிய நிலையில் இது அமையவேண்டும். ஆனால், பெரும்பாலும் இது கோள வடிவத்தோடும் சிறிய கழுத்துடனும் இருக்கும். இதனடியில் ஒரு சிறு துவாரமுள்ள குழாயுமிருக்கிறது. இதற்கு நிப்பிள் (nipple) என்று பெயர். இதைக் காதில் வைத்துக்கொண்டு ஒத்திசைவியிலேற்படும் ஒலியைக் கேட்கலாம். அல்லது நிப்பிளில் ஒரு ரப்பர்க் குழாயுடன் இணைத்து அதன் நுனியில் ஓர் இடுக்கியையும் (pinch clamp) பொருத்தலாம். ஒத்திசைவியில் நீரை நிரப்பி, அதை வேண்டிய அளவிற்கு வடிய விட்டு ஒத்திசைவியிலுள்ள காற்றின் பருமனை மாற்றலாம். ஒத்திசைவியிலுள்ள காற்றின் பருமனை மாற்றியோ, கழுத்தின் நீளத்தை மாற்றியோ, கழுத்தின் குறுக்களவை மாற்றியோ, அது எந்த இசைக்கவட்டின் அதிர்வெண்ணுடனும் ஒத்திசைக்கும்படி செய்யலாம். கழுத்திலுள்ள காற்றடுக்குகள் (layers of air) செங்குத்தாகத் துடிப்பதால் ஒலி ஏற்பட்டுக் காக்கப்படுகின்றது.



படம் 36

ஒத்திசைவியிலேற்படும் ஒலியின் மூல சுரத்தின் அதிர்வெண் (n), ஒத்திசைவியின் பருமன் (V), கழுத்தின் நீளம் (L), குறுக்களவு (A), இவற்றை ஒரு சமன்பாட்டினுல் இணைக்கலாம். இவ் வில் பெரும் பளுவின் ஆதிக்கத்தில் செங்குத்தாக அலைவுறும்பொழுது, வில்லின் ஆற்றல் ஒரு பகுதி நிலையாற்றலாகவும், மறுபகுதி இயக்க ஆற்றலாகவும் இருக்கும். வில்லின் எடை குறைவாயிருந்தால் இயக்க ஆற்றல் முற்றிலும் துடிக்கும் பளுவிலும், நிலை ஆற்றல் முற்றிலும் வில்லிலும் இருப்பதாகக் கொள்ளலாம். அப்பொழுது வில்லின் செங்குத்தலைவுகளின் அலைவு நேரம் (T),

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\text{வில்லிலுள்ள பளு}}{\text{பளுவின் ஓா அலகு இடப் பெயர்ச்சிகுள்ள மீள்விசை}}}$$

இதுபோலவேதான் ஒத்திசைவியிலும் ஒத்திசைவியின் கழுத்திலுள்ள காற்றடுக்குகளை வில்லிலுள்ள எடைக்கு ஒப்பிடலாம். ஒத்திசைவியிலுள்ள காற்றைச் சுருள் வில்லுக்கே ஒப்பிடலாம். ஆகையால், ஒத்திசைவி ஒலியெழுப்பும்பொழுது, துடிப்புகளின் இயக்க ஆற்றல் கழுத்திலுள்ள காற்றடுக்குகளிலுறைந்திருப்பதாகவும், அவற்றின் நிலை ஆற்றல் பாத்திரத்திலுள்ள காற்றின் அழுத்த மாற்றங்களால் உண்டாக்கப்பட்டு அந்தக் காற்றிலேயே இருப்பதாகவும் கொள்ள வேண்டும். காற்றின் அலைவு நேரம் (T).

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\text{கழுத்திலுள்ள காற்றின் எடை}}{\text{காற்றடுக்கின் ஓர் அலகு இடப் பெயர்ச்சிக்குள்ள மீள்விசை}}}$$

பாத்திரத்தின் கழுத்தின் பாதத்தில் M என்னுமிடத்திலிருந்து ஓர் அலகு தூரம் மேலே K என்னுமிடத்திலுள்ள ஒரு காற்றடுக்கைக் கவனிப்போம். M வரையில் ஒத்திசைவியின் பருமன் V அலகுகள் என்றும், அதிலுள்ள காற்றின் அழுத்தம் P அலகுகள் என்றும் வைத்துக்கொள்வோம். காற்றின் அடுக்கு K என்னுமிடத்திலிருந்து, M என்னுமிடத்திற்கு ஓர் அலகு தூரம் கீழே நகரும்பொழுது அழுத்தத்தின் ஏற்றம் δP அலகென்றும் வைத்துக் கொள்வோம். அப்பொழுது, காற்றடுக்கு M என்ற இடத்திலிருக்கும்பொழுது காற்றின் அழுத்தம் $(P+\delta P)$ ஆகும்.

கழுத்தின் குறுக்களவு A அலகுகளாகையால், காற்றடுக்கு ஓர் அலகு தூரம் கீழே நகரும்பொழுது, இயங்கும் விசை $A . \delta P$-க்குச் சமம். ஆகையால், ஓர் அலகு இடப்பெயர்ச்சியேற்படுத்தும் மீள் விசை $= A . \delta P$. காற்றின் அழுத்தம் P அலகுகளாக இருக்கும் பொழுது, காற்றின் அடர்த்தி ρ-என்றுல் பாத்திரத்தின் கழுத்தி

லுள்ள காற்றின் எடை = A.L.ρ. ஆகையால், அலைவுநேரம்

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{A\ L\rho}{A.\delta P}}$$

$$= 2\pi \sqrt{\frac{L\rho}{\delta P}} \qquad \ldots\ldots(1)$$

காற்றடுக்கு K என்னுமிடத்திலிருக்கும்பொழுது,

காற்றின் பருமன் = $(V+A)$

காற்றின் அழுத்தம் = P

காற்றடுக்கு M என்னுமிடத்திலிருக்கும்பொழுது,

காற்றின் பருமன் = V

காற்றின் அழுத்தம் = $(P+\delta P)$

காற்றடுக்கு அலைவுறும்பொழுது ஏற்படும் பரும அழுத்த மாற்றங்கள் வெப்ப மாறுநிலையில் (adiabatic) நிகழ்கின்றன.

$$\therefore \quad P(V+A)^{\gamma} = (P+\delta P)\, V^{\gamma}$$

$$\text{அல்லது, } PV^{\gamma}\left(1+\frac{A}{V}\right)^{\gamma} = (P+\delta P)\, V^{\gamma}.$$

பாத்திரத்தின் கழுத்து மிகக் குறைவாகவிருக்கும்போது, $\frac{A}{V}$ மிகச் சிறியதாகவிருக்கும்.

$$\therefore \quad PV^{\gamma}\left(1+\frac{\gamma A}{V}\right) = (P+\delta P)\; V^{\gamma}$$

$$\therefore \quad \frac{\gamma PA}{V} = \delta P$$

δP-யின் இந்த மதிப்பை (1) ஆவது சமன்பாட்டில் பதிலீடு செய்தால்,

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\rho L}{\gamma PA/V}}$$

$$= 2\pi \sqrt{\frac{V\rho L}{\gamma PA}}.$$

$$\text{ஆனால் } \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}} = C$$

$$\text{ஆகையால் } T = \frac{2\pi}{C}\sqrt{\frac{VL}{A}}.$$

$$\text{ஆனால் } n = \frac{1}{T}$$

$$= \frac{C}{2\pi}\sqrt{\frac{A}{VL}} \qquad \ldots\ldots(3)$$

(3) ஆம் சமன்பாட்டிலிருந்து, A, V, L எல்லாவற்றையுமோ அல்லது எதையாவதையோ மாற்றி அலைவு எண் n ஐ மாற்றலாமென்று விளங்குகிறது.

0° செ. வெப்ப நிலையில் ஒலியின் வேகம் விநாடிக்கு 331 மீட்டர்கள் என்றால்,

$$n = 5266 \sqrt{\frac{A}{VL}}$$

நீண்ட கழுத்துகளுடைய ஒத்திசைவிகளைப் பயன்படுத்தி அலைவெண்ணுக்கு ஸாண்டுஹாஸ் (Sondhaus) என்பவர் கண்டுபிடித்த வாய்பாடு,

$$n = 4671 \sqrt{\frac{A}{VL}} .$$

ஸாண்டுஹாஸ் கண்டுபிடித்த அலைவெண், ஹெல்ம்ஹோல்ட்ஸின் அலைவெண்ணைவிடச் சிறியதாகவுள்ளது. ஆனால், கொள்கை (theory) மூலம் கணக்கிட்ட அலைவெண் ஹெல்ம்ஹோல்ட்ஸின் மதிப்பைவிட மிகப் பெரியதாகக் காணப்பட்டது. இதற்குக் காரணம் ஹெல்ம்ஹோல்ட்ஸின் கணக்குப்படி ஒத்திசைவியின் கழுத்துக் குட்டையாக இருந்தது. அதனால் முனைத்திருத்தத்தின் மதிப்பு அதிகரித்து, அலைவெண்ணின் மதிப்பு குறைந்து காணப்பட்டது. பரிசோதனைகளிலிருந்து ஹெல்ம்ஹோல்ட்ஸ் ஒத்திசைவிக்கு முனைத்திருத்தம் $\frac{\pi}{8} d$ என்று கணக்கிட்டு, இது பாத்திரத்தின் கழுத்தின் நீளத்துடன் சேர்த்துக்கொள்ளப்பட்டது. ஆகவே,

$$n = \frac{C}{2\pi} \sqrt{\frac{A}{\left(L + \frac{\pi}{8} d\right) V}}$$

இப்பொழுதுங்கூட இந்த அலைவெண் கணக்கிடப்பட்ட அதிர்வெண்ணைவிட மிகக் குறைவாகத்தானிருப்பதாகக் கண்டனர்.

உயிரொலிகளின் (vowels) பண்பைப் பகுப்பாய்வதற்கு ஹெல்ம்ஹோல்ட்ஸ் ஒத்திசைவி பெரிதும் பயன்படும். இதைப் பிறகு விளக்குவோம்.

மெல்லேடுகளும் தகடுகளும் (Membranes and plates) : கம்பிகள் எல்லாம் ஒரு திசையில் மட்டும் அதிரும் பொருள்கள். ஆனால், மெல்லேடுகளும் தகடுகளும் செங்குத்தான இரு பரிமாணங்களில் (இரு திசைகளில்) (two dimensions) அதிரும் பொருள்களாகும். இவ்வு எல்லாப் பக்கங்களிலும் பிகுவாக இழுத்துப் பிடிக்கப்

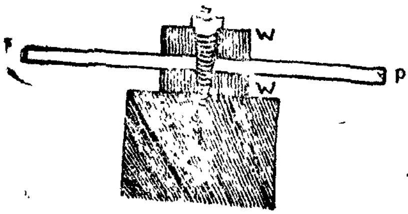
பட்டிருந்தால், மீட்சி விசை இந்த பிகுவிலிருந்து (tension) கிடைக்கும். ஆனால், தகடுகளில் மீட்சி விசை வளைவு திருப்பு திறனிலிருந்து (bending moment) கிடைக்கும். இவை இரண்டு பரிமாணங்களிலிருப்பதால் (two dimensions), அதிர்வுகளைக் கணிதப் பகுப்பாய்வு (mathematical analysis) செய்வது சற்றுக் கடினமாகும்.

இக்காலத்தில் ஜவ்வுகளும் தகடுகளும், மைக்ரோஃபோன் (microphone), ஒலிபெருக்கி (loudspeaker), ஹைட்ரோஃபோன் (hydrophone) முதலிய கருவிகளில் மின்-ஒலி ஆற்றல் மாற்றி (electro-acoustic transducer) யாகப் பயன்படுத்தப்படுவதால், அவற்றின் அதிர் வகைகளைக் கவனிக்க வேண்டியது முக்கியமாகும். கன்டென்சர் மைக்ரோஃபோனிலுள்ள ஜவ்வு, ஒலி பெருக்கியிலுள்ள கூம்பு (cone), தொலைபேசி ஜவ்வு முதலியன ஜவ்வு மல்ல, தகடுமல்ல. இவ்விரண்டும் இடைநிலையிலுள்ள ஒருவித அதிர்வுப் பொருள்களாகும். இவற்றின் அலைவுப் பண்புகள் முக்கியமாகச் சோதனை மூலமே அறியப்படுகின்றன. இருந்த போதிலும், ராலே (Rayleigh) என்பவர் ஓரங்களில் பிடிக்கப் பட்ட வட்டத் தகடுகளின் மூல சுரங்களின் அதிர்வெண் $0{\cdot}47hc/a^2$ ஆக இருக்கவேண்டுமென கணக்கிட்டுள்ளார். h, a என்பவை தகட்டின் கனம், ஆரம் ஆகும். c என்பது தகட்டில் ஒலி பரவும் வேகம். ஓரங்கள் பிடிவுறுமல் சுயேச்சையாக இருந்தால் கணக்கீடு இன்னும் சிக்கலடைகிறது. எனினும், விடுக்கப்படும் ஒலியின் மூல சுர அதிர்வெண், தகடுகளின் பரிமாணங்களையும் மீட்சித் தன்மையையும் சார்ந்திருப்பதாக ராலே கூறியிருக்கிறார்.

ஆனால், முதன்முதலில் இவ்விஷயத்தைச் சோதனைகள் மூலம் ஆராய்ந்தவர் கிளாட்னிதான் (Chladni). உலோகத் தகடுகளின் மீட்சித் தன்மை சீராக இல்லாமையாலும், கண்ணாடித் தகடுகள் ஒளி புகும் பொருள்களாக இருப்பதாலும், கண்ணாடித் தகடுகளே சோதனைக்குப் பொருத்தமானவையென்று கிளாட்னி கண்டார். அதிலும் சதுரமான தகடுகளே சிறந்தவையென்று அவற்றையே பயன்படுத்தினார்.

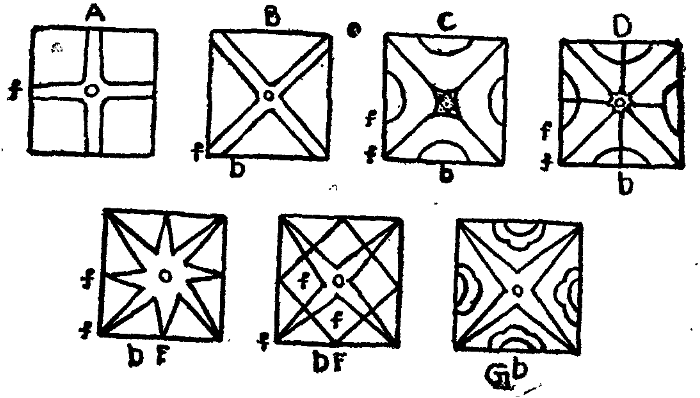
சதுரக் கண்ணாடித் தகட்டை நடுமையத்தில் ஒரு ஸ்டாண்டின் உதவியைக்கொண்டு அசையாமல் இருக்குமாறு செய்து கொள்ள வேண்டும். தகட்டின் துடிப்புகளைக் கவனிக்க, தகட்டின் மேல் சன்ன மணலைத் தூவிக்கொள்ள வேண்டும். தகட்டின் சில பாகங்களைத் (f-படம் 38) தொட்டுக்கொண்டு, வில்லினால் மற்ற பாகங்களை (b-படம் 38) மீட்டினால ஒலி யெழும்புவதைக் கேட்க

லாம். மணல் தூள்கள் எங்கும் சில இடங்களில் இல்லாமலும் சில இடங்களில் குவிந்தும் படங்களில் காண்பதுபோல் கோலமிடுவதைக் கவனிக்கலாம். கோலம் சில இடங்களில் நேர்கோடுகளாகவும் சில இடங்களில் வளை கோடுகளாகவும் இருக்கின்றன. தொடப்படும் இடத்தை மாற்றியும்,



படம் 37

வில் மீட்டப்படும் இடத்தை மாற்றியும் பலவித ஒலிகளை உண்டு பண்ணலாம். ஒவ்வொரு சமயமும் ஒலியின் பண்பு ஒவ்வொன்றாக இருக்கும். அதுபோலவே ஒவ்வொரு துடிப்புக்கும் மணல் சேருமிடங்களும் பிரியுமிடங்களும் ஒவ்வொரு விதமாக இருக்கும். சதுரத் தகடுகளைக் கொண்டு 52 கோலப் படங்களையும், வட்டத்



படம் 38

தகடுகளைக் கொண்டு 43 படங்களையும், அறுகோணத் தகடுகளைக் கொண்டு 30 படங்களையும் செவ்வகத் தகடுகளைக்கொண்டு 52படங்களையும், நீள் வளையத் தகடுகளைக் கொண்டு 26 படங்களையும், அரை வட்டத் தகடுகளைக் கொண்டு 15 படங்களையும் கிளாட்னி அவர்கள் வரைந்துள்ளார். ஆகவே, இப் படங்களுக்கு கிளாட்னி படங்களென்று பெயர். அவற்றிற் சிலவற்றைத்தான் படம் 38-ல் காண்கிறோம்.

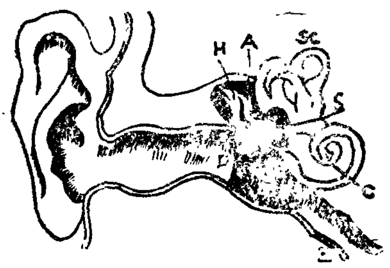
தகடு இயக்கப்படும்பொழுது இரண்டுவித அலைவுகள் ஏற்படுகின்றன. ஒன்று தகட்டின் இயக்கப்பட்ட ஓரத்திற்கு இணையாகவும், மற்றொன்று இயக்கப்பட்ட இடத்திற்குத் தகுந்த திசையிலும் இருக்கும். இவ்விரண்டு அலைவுகளுக்கு அதிர்வெண்

ஒன்றுதான். ஆனால், அவை வெவ்வேறு அலைவு நிலையில் (phase) இருக்கும். இவ்விரண்டு அலைவுகளும் இணையும்பொழுது கணுக்களும், எதிர்க்கணுக்களும் அவைகளுக்கிடையே வளையங்களும் (loops) ஏற்படுகின்றன. கணுக்களெல்லாம் ஒரு கோட்டின்மேல் அமைகின்றன. இக் கோட்டிற்கு அதிர்விலாக் கோடு (nodal line) என்று பெயர். அதிர்விலாக் கோடுகளின் தரம், இடம், எண்ணிக்கை இவையெல்லாம், மேற்கூறிய இரண்டு அலைகளின் அதிர்வுநிலை வேறுபாட்டைப் பொறுத்திருக்கும். தகடுகளை வில்லால் மீட்டாமல் ஏதாவதொரு பொருளினால் தட்டினாலும் ஒலி எழும்பும். தகடு துடிக்கும்பொழுது உண்டாகும் ஒலியில் மேல் சுரங்கள் (overtones) கலந்து வருகின்றன. அவையெல்லாம் ஒரு வரிசைக்கிரமமாக இருப்பதற்காகத்தான் தகட்டை ஓர் இடத்தில் தொட்டுக்கொண்டு மற்றோர் இடத்தில் வில்லை மீட்டுகின்றோம். அவ்வாறு இல்லாமல், கண்டபடி மீட்டினால் ஏற்படும் ஒலி கேட்க இனிமையாக இல்லாமல் வெறுப்பாக இருக்கும்; இதற்குக் காரணம் ஒலியி லிருக்கும் மேல் சுரங்கள் ஒன்றுக்கொன்று ஒத்திராமல் தாறு மாறாக இருப்பதுதான்.

மணியோசை (Bell Sound): வட்ட வடிவமான கனமான உலோகத் தகட்டைத் தொங்கவிட்டு மரச்சுத்தியினால் நடுமத்தியி லடித்து ஒலியை எழுப்புகிறோம். கோவில்களிலும் மற்ற இடங் களிலும் உபயோகிக்கப்படும் வளைந்த உருவமுள்ள மணிகளையும் கவனித்திருக்கிறோம். மணியிலுள்ள பல வளைந்த தகடுகள் ஒலி யெழுப்புவதற்கு, நாக்கு என்று சொல்லப்படும் கனமான உலோகத் துண்டு ஒன்று மணியின் நடுவில் தொங்கவிடப்பட்டிருக்கும். பல வளைந்த தகடுகள் ஒன்று சேர்ந்து மணியாக அமைகின்றன. நாக்கு மணியின் பக்கத்தில் மோதும்பொழுது இப் பல வளை தகடுகளும் பல பிரிவுகளாக அசைந்து ஒலியை உண்டுபண்ணு கின்றன. அதிர்விலாக் கோடுகளில் அல்லது கணுக்கோடுகளில் சில வளைவாகவும் சில நேராகவும் இருக்கும். இவற்றிற்குக் கணு வட்டங்கள் (nodal circles) என்றும், கணு மெரிடியன்கள் (nodal meridians) என்றும் பெயர். மணி பல பிரிவுகளாகத் துடிக்கும்பொழுது மேல் சுரங்கள் கண்டவாறு ஏற்பட்டு ஒலி அருவருப்பாக இல்லாதிருக்கும்பொருட்டு அது அடியில் சன்ன மாகவும் மேலே வர வர தடித்திருக்கும்படியும் வார்க்கப்படு கிறது. மணியோசை எழும்பொழுது ஐந்து குரல்கள் வெளி யாகின்றன. அதிர்வெண்ணின் வரிசைப்படி அவை பொய்ச் சுருதி (nominal tone), ஐந்தாம் சுருதி (fifth tone), கடுஞ் சுருதி (fierce tone), மூல (fundamental) சுருதி, மந்த சுருதி (hum note) என்று அழைக்கப்படுகின்றன. மணியோசை இனிமை

யாக இருப்பதற்கு இணை சுருதிகள் (composite notes) முறை யாகத் தொடர்ந்து வரவேண்டும்.

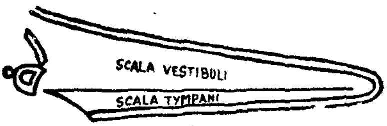
காது (Ear): காதைப் புறச்செவி, நடுச்செவி, உட்செவி என்று மூன்று பாகங்களாகப் பிரிக்கலாம் (படம் 39). புறச் செவியில் செவிப் புனல் (pinna), செவிக் குழல் (auditory canal), ஜவ்வுத் தோல் (drum skin) இம்மூன்றும் அடங்கியுள்ளன. செவிக் குழலின் பக்கங்களில் குரும்பை எனப்படும் ஒரு வித மெழுகு இருக்கிறது. இதனால் எறும்பு முதலிய சிறு பூச்சிகள் சுலபமாக உட்செல்ல முடியாது. செவிக்குழலின் இறுதியில் ஜவ்வுத் தோல் அமைந்திருக்கிறது.



படம் 39

நடுச்செவியில் ஆஸிகிள்ஸ் (Ossicles) என்ற மூன்று எலும்பு களாலாகிய தொடர் ஒன்று இருக்கிறது. இம் மூன்று எலும்பு களும் ஒன்றோடொன்று மிகவும் நுட்பமாக இணைந்திருக்கின்றன. இத் தொடரின் முன் முனை ஜவ்வுத் தோலுடனும், பின் முனை உட்காதுடனும் சேர்ந்திருக்கின்றன. இவற்றின் பெயர்கள் சுத்தி (hammer), பட்டரை (anvil), கொக்கி (stirrup) எனப்படும்.

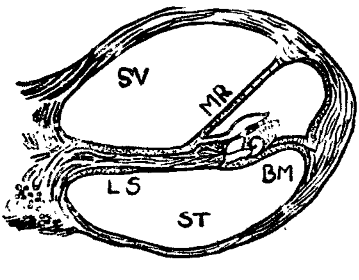
உட்செவியின் அமைப்பு சற்றுச் சிக்கலானது இதன் முக்கிய பாகமாகிய சுருள்வளை (cochlea) பார்வைக்கு நத்தை ஓட்டைப் போன்றிருக்கும். இச் சுருளை நிமிர்த்து வைத்தால் படம் 40-ல் கண்டுள்ளது போல் தோன்றும். இதன் நீளம் 3 1 செ.மீ. இருக்கும் இதைக் கேள்வி நரம்புகள் மூளையுடன் இணைக்கின்றன.



படம் 40

படம் 41 சுருள் வளையின் குறுக்கமைப்பைக் காண்பிக்கின்றது பேஸிலார் அடி ஜவ்வுத்தோலில் ஆயிரக்கணக்கான சிறு நரம்புகள் (fibres) இருக்கின்றன. மேலேயுள்ள பாகத்திற்கு ஸ்கேலா வெஸ்ட்டிபுலி (scala vestibuli) என்றும், கீழேயுள்ள பகுதிக்கு ஸ்கேலா டிம்பனி (scala tympani) என்றும் பெயர். சுருள் வளையின் (cochlea or canalis cochlearis) முக்கோண வடிவ

முள்ள ஜவ்வுப் பகுதி ஸ்கேலா வெஸ்ட்டிபுலின் ஒரு கோடியி லிருக்கிறது. இப் பகுதி, மேல் அறையிலிருந்து ரிஸ்னர் ஜவ்வாலும் (reissner membrane) கீழறையி லிருந்து பேஸிலர் ஜவ்வாலும் பிரிக்கப்பட்டுள்ளது. லாமினு ஸ்பைராலிஸ் (lamina spiralis) என்னும் அங்கம், பேஸிலர் ஜவ்வுப் பக்கத்தில் கவையாகப் பிரிகின்றது. கவையின் இரு முள் களுக்கிடையே கோர்ட்டி (corti) என்னும் விலாவெலும்பு போன்ற கோல்கள் (rods) இருக் கின்றன. கேள்வி நரம்புகள் லாமினு ஸ்பைராலிஸ் வழியே நுழைந்து செல்கின்றன. இந் நரம்புகளின் நுனியிலிருந்து பல சிறு நரம்புகள் கிளம்பிக் கோர்ட்டி அங்கத்தின் தசையில் பதி கின்றன.



படம் 41

ஒலியெழுப்பப்பட்டவுடன் அது காற்றில் அலைகளாக மாறிக் காதின் புனல் வழியாகச் செவிக்குழலில் புகுந்து ஜவ்வுத்தோலை இயக்குகின்றது. இவ்வியக்கம் பிறகு சுத்தி, பட்டரை, கொக்கி முதலியவற்றின் வழியாகச் சென்று நீள்வளைய ஜன்னலை (oval-shaped window) அடைகின்றது. இந்த ஜன்னல் திறந்தவுடன் இவ்வுணர்ச்சி ஸ்கேலா வெஸ்ட்டிப்யூலி வழியாகவும், ரீஸ்னர் ஜவ்வு வழியாகவும் பேஸிலர் ஜவ்வையடைந்து கோர்ட்டி அங்கத்தி லுள்ள கோல்களைச் சேர்கின்றது. இக் கோல்கள் பல வடிவங் களிலுள்ளன; ஆகவே, எந்த ஒலியுடனும் ஒத்திசைக்கக்கூடிய சிறந்த ஒத்திசைவிகள். ஒவ்வொரு ஒலியையும் அதே அதிர் வெண்ணுடைய ஒரு கோல் பொறுக்கியெடுத்து, கேள்வி நரம்பு களுக்கு அனுப்பும். இறுதியில் ஒலி அலைகள் மூளைக்குச் சென்று செவ்வனே பொருள்படுத்தப்படுகின்றன.

நமது காது கேட்கக்கூடிய அதிர்வெண் வரம்புகள் மாறக் கூடியவை. ஆனால், பொதுவாக அதிர்வெண் 16-க்குக் கீழிருந்தா லும், 20,000-க்கு மேலிருந்தாலும் ஒலி கேட்காதென்று கண்டு பிடிக்கப்பட்டிருக்கிறது. உயர்ந்த சுருதிகளைக் கேட்கும் சக்தி வயதைப் பொறுத்திருக்கிறது. முதுமை ஏற ஏற உயர்ந்த சுருதி களைக் கேட்க முடிவதில்லை.

மாதிரிக் கணக்குகள்

1. 80 செ.மீ., 81 செ.மீ. நீளங்களுள்ள இரண்டு திறந்த குழாய்கள் தங்களது முதற் சுரங்களை யெழுப்பும்பொழுது 10 விநாடிகளில் 26 விம்மல்களை உண்டாக்குகின்றன. முனைத்திருத்தங்களை ஒதுக்கிவிட்டு ஒலி வேகத்தையும், இரண்டு சுரங்களின் அதிர்வெண்களையும் காண்க.

10 விநாடிகளில் கேட்கும் விம்மல்கள் = 26

$$1 \text{ விநாடியில் கேட்கும் விம்மல்கள்} = \frac{26}{10}$$

முதற்குழாயின் மூலசுரமும், இரண்டாம் குழாயின் மூலசுரமும் N_1, N_2 என்று இருக்கட்டும். அப்பொழுது,

$$N_1 \backsim N_2 = \frac{26}{10} \qquad \ldots\ldots(1)$$

குழாய்களில் மூலசுரங்களெழும்பொழுது, குழாய்களின் நீளங்கள் கால் அலை நீளத்திற்குச் சமம். ஆகையால்,

$$l_1 = \frac{\lambda_1}{2}$$

$$l_2 = \frac{\lambda_2}{2}$$

$$\therefore \quad \lambda_1 = 2l_1 = 160$$

$$\lambda_2 = 2l_2 = 162$$

$$\therefore \quad N_1 = \frac{C}{160}$$

$$N_2 = \frac{C}{162}$$

$$\therefore \quad N_1 - N_2 = C\left(\frac{1}{160} - \frac{1}{162}\right)$$

$$i.e. \quad \frac{26}{10} = C\left(\frac{1}{160} - \frac{1}{162}\right)$$

$$= \frac{2C}{162 \times 160}$$

$$C = \frac{26 \times 162 \times 160}{10 \times 2}$$

$$= 336{\cdot}96 \text{ மீ./செ.}$$

$$N_1 = \frac{C}{\lambda_1} = \frac{33696}{160}$$

$$= 210{\cdot}6$$

$$N_2 = \frac{C}{\lambda_2} = \frac{33696}{162}$$

$$= 208$$

2. வெப்பநிலை 15° செ.கி. ஆகவும், அழுத்தம் 780 மி.மீ. ஆகவும் இருக்கும்பொழுது ஒலியின் வேகம் 341 மீ./செ. வெப்பநிலை 25° செ.கி. ஆகவும், அழுத்தம் 740 மி.மீ. ஆகவும் இருக்கும்பொழுது ஒலியின் வேகத்தைக் காண்க.

$$T_1 = 273 + 15 = 288$$

$$T_2 = 273 + 25 = 298$$

$$\frac{C_1}{C_2} = \sqrt{\frac{T_1}{T_2}}$$

$$\frac{341}{C_2} = \sqrt{\frac{288}{298}}$$

$$C_2 = 341\sqrt{\frac{298}{288}}$$

$$= 346{\cdot}8 \text{ மீ./செ.}$$

3. ஓர் இசைக்கவடு எழுப்பும் சுரம், ஒரு கி. லோ. கிராம் பளு தாங்கும் 30 செ.மீ. நீளமுள்ள சோனோமீட்டர் கம்பியெழுப்பும் மூல சுரமும் ஒரே சுருதியிலிருக்கின்றன; அதுபோலவே ஒரு லிட்டர் பருமனுள்ள குடுவையிலுள்ள (flask) காற்று எழுப்பும் மூல சுரமும் இசைக்கவட்டுடன் ஒத்திசைக்கிறது. குடுவையின் கழுத்தின் நீளம் 4 செ.மீ., ஆரம் 2 செ.மீ.; ஒரு மீட்டர் சோனோமீட்டர் கம்பியின் எடை 400 மி.கி. அப்படியானால், காற்றில் ஒலியின் வேகமென்ன வென்பதைக் காண்க.

சோனோமீட்டர்

$$n = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}$$

$$n = \frac{1}{2\times 30}\sqrt{\frac{1000\times 980}{{\cdot}004}}$$

ஒத்திசைவி

$$n = \frac{C}{2\pi}\sqrt{\frac{A}{V{\cdot}L}}$$

$$= \frac{C}{2\pi}\sqrt{\frac{\pi\times(2)^2}{1000\times 4}}$$

$$\therefore C = \frac{2\pi}{60}\sqrt{\frac{1000\times 980\times 1000}{{\cdot}004\times\pi}}$$

$$= 337.6 \text{ மீ./செ.}$$

4. குண்ட் குழாயிலுள்ள பித்தளைக் கோலின் நீளம் 100 செ.மீ. அதை நடுவில் பிடித்துவிட்டு அதன் வெளி நுனியை நீட்ட வசமாக இழுத்தால், லிகோபோடியம் தூள்கள் வரிப் பள்ளங்கள் தோன்றுகின்றன. இரண்டு வரிப்பள்ளங்களுக்கிடையே யுள்ள தூரம் 10·1 செ.மீ. பித்தளையின் மீட்சிக் குணகம் $= 9 \cdot 8 \times 10^{11}$ டை./க.செ. அதன் அடர்த்தி 8·6 கி./க.செ. திட்ட வெப்ப நிலை அழுத்தத்தில் காற்றின் அடர்த்தி = 1·293 கி./லி. காற்றின் வெப்ப எண் விகிதத்தைக் கண்டுபிடிக்கவும்.

$$l_1 = 100 \qquad l_2 = 10 \cdot 1$$

$$\frac{\lambda_1}{2} = 100 \qquad \frac{\lambda_2}{2} = 10 \cdot 1$$

$$\lambda_1 = 200 \qquad \lambda_2 = 20 \cdot 2$$

$$C_b = 200n \qquad C_a = 20 \cdot 2n.$$

$$\frac{C_a}{C_b} = \frac{20 \cdot 2n}{200\,n} \qquad C_b = \sqrt{\frac{q}{\rho_1}}$$

$$= \frac{20 \cdot 2}{200} \qquad C_a = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho_2}}$$

$$\therefore \quad C_a = C_b \cdot \frac{20 \cdot 2}{200}$$

$$\sqrt{\frac{\gamma \rho}{\rho_2}} = \frac{20 \cdot 2}{200}\sqrt{\frac{q}{\rho_1}}$$

$$\frac{\gamma P}{\rho_2} = \frac{20 \cdot 2^2}{200^2} \cdot \frac{q}{\rho_1}$$

$$\gamma = \frac{20 \cdot 2^2}{200^2} \times \frac{9 \cdot 8 \times 10^{11} \times \cdot 001293}{8 \cdot 6 \times 76 \times 980 \times 13 \cdot 6}$$

$$= 1 \cdot 485$$

5. ஒரு கிலோ நீரின் அழுத்தத்தை 2 வளியழுத்த அளவு அதிகரித்தால் அதன் பருமன் 0·0980 க.செ. அளவு குறைகிறது. 512 அதிர்வெண்ணுடைய ஒலியலை நீரின் வழியே சென்றால் அதன் ஒலியலை நீளத்தைக் காண்க.

பருமக் குறைவு δV = ·0976 க.செ.
ஆரம்பப் பருமன் V = 1000 க.செ.

திரிபு $\frac{dV}{V} = \frac{\cdot 0980}{1000}$

தகைவு $= 2 \times 76 \times 980 \times 13{\cdot}6$

ஆகவே, பருமக் குணகம் $k = \frac{\text{தகைவு}}{\text{திரிபு}} = \frac{2 \times 76 \times 980 \times 13{\cdot}6}{\cdot 0000980}$

$$= 2 \times 76 \times 13{\cdot}6 \times 10^7$$

$$C = \sqrt{\frac{k}{\rho}} = \sqrt{2 \times 76 \times 13{\cdot}6 \times 10^7}$$

$$C = n\lambda$$

$$\lambda = \frac{C}{n} = \frac{1}{512}\sqrt{2 \times 76 \times 13{\cdot}6 \times 10^7}$$

$$= 280{\cdot}8 \text{ செ.மீ.}$$

6. வெப்பநிலை 13° செ.கி. ஆக இருக்கும்பொழுது காற்றில் ஒலி வேகம் 340 மீ./செ. வெப்பநிலை 22° செ.கி.-க்கு ஏறினால் ஒலியின் வேகம் என்னவாகும்?

$$C_{13} = 340$$

$$\frac{C_{22}}{C_{13}} = \sqrt{\frac{295}{286}}$$

$$C_{22} = C_{13}\sqrt{\frac{295}{286}} = 340\sqrt{\frac{295}{286}}$$

$$= 345{\cdot}3 \text{ மீ./செ.}$$

கேள்விகள்

1. ஒரு பக்கம் திறந்துள்ள குழாயில் எப்படி நிலையலைகள் உருவாகின்றன என்பதை விளக்குக. இது போன்ற இரண்டு குழாய்களில் மேல்சுரங்கள் சம அதிர்வெண்ணுடையனவாக விருந்தால் குழாய்களின் நீளங்களை ஒப்பிடுக.

2. ஒரு கோலில் நெட்டலைகளின் வேகத்தைக் கண்டு பிடிக்க ஒரு சோதனையை வர்ணிக்கவும். குறுக்கலைகளைவிட நெட்டலைகள் வேகமுடையவையென்று நிரூபிக்கவும்.

3. நீரில் ஒலி பரவும் வேகத்திற்கு ஒரு கோவையைத் தருவிக்க.

ஒரு கிலோ நீர் 75 செ.மீ. பாதரஸ அழுத்தத்திற்குள்ளாகும் பொழுது அதன் பருமன் 0·0412 க.செ.மீ. அளவு குறைகிறது. நீரில் ஒலியின் வேகத்தைக் கணக்கிடுக.

4. ஒரு கோலின் நெட்டலைவுகளுக்கு ஒரு சமன்பாடு தருக. குண்ட் குழாய்ச் சோதனையை விவரித்து வாயுப்பொருளில் ஒலி வேகத்தைக் காணும் வழியை விளக்குக.

5. ஒரு தண்டில் (bar) ஏற்படும் நெட்டலைவுகளின் அதிர்வெண்ணுக்கு ஒரு கோவையைத் தருவிக்கவும். அத்தகைய தண்டின் அதிர்வெண்ணை எவ்வாறு கண்டுபிடிப்பது ?

6. ஹெல்ம்ஹோல்ட்ஸ் ஒத்திசைவியின் கொள்கையை விவரிக்கவும்.

500 க.செ.மீ. பருமனும் 10 செ.மீ. நீளக் கழுத்துமுடைய குடுவையொன்று ஒத்திசைவியாகப் பயன்படுத்தப்படுகிறது. கழுத்தின் உள் ஆரம் 1 செ.மீ. என்றால் ஒத்திசைவியின் மூல சுருதியைக் கணக்கிடவும். காற்றில் ஒலியின் வேகம் 340 மீ./செ. என்று கொள்க.

7. ஒரு கோலின் மீட்சி குணகத்தைக் கண்டுபிடிக்க குண்ட்ஸ் குழாயை எப்படிப் பயன்படுத்தலாம் என்பதை விளக்குக.

நடுவில் பிடிக்கப்பட்ட 4 மீ. நீளமுள்ள பித்தளைக் கோல் ஒன்று நெட்டலைவுறும்பொழுது அது எழுப்பும் ஒலியின் சுருதி 450. பித்தளையின் அடர்த்தி 8·3 கி./க.செ. ஆனால், அதன் மீட்சிக் குணகத்தைக் கண்டுபிடிக்கவும்.

8. வாயுப்பொருளில் ஒலி பரவுவதற்கான நியூட்டனின் சமன்பாட்டை நிறுவுக. லாப்ளாஸ் என்பவர் எதற்காக எப்படி அந்தச் சமன்பாட்டை மாற்றியமைத்தார் ?

வெப்பநிலை மாற்றத்தாலும், ஈர நைப்பின் மாற்றத்தாலும் வாயுவில் ஒலி வேகம் எப்படி மாறுகின்றது ?

9. இரண்டு வாயுப்பொருள்களிலுள்ள ஒலி வேகங்களை எப்படி ஒப்பிடுவது?

10. பிகுவாக இழுக்கப்பட்டுள்ள கம்பியிலெழும் முறுக்கலைகளின் வேகத்தைக் கணக்கிட ஒரு கோவை வரைக.

l செ.மீ. நீளமுள்ள ஒரு கம்பி விசைக்கப்படுகிறது. அதன் நீளம் $\left(\frac{l}{n}\right)$ அளவு அதிகரிக்கிறது. நெட்டலையின் மூல சுருதி குறுக்கலைவு மூல சுருதியைவிட $\sqrt{n}$ மடங்கு அதிகமென்பதை நிரூபிக்கவும்.

11. பின்கண்டவற்றைப்பற்றி குறிப்புகள் வரைக.

(a) ஒத்திசைவிகள்

(b) காதும் அதன் பாகங்களும்

(c) கிளாட்னி படங்கள்

(d) மணியோசை

(e) ஹெல்ம்ஹோல்ட்ஸ் ஒத்திசைவி

12. 38 செ.மீ., 44 செ.மீ. நீளங்களுள்ள ஒரேவித இரு கம்பிகள் 2 கிலோ, 2·1 கிலோ விசைகளுக்குள்ளாகி குறுக்கலைவுறுகின்றன. அப்பொழுது அவற்றின் மூல சுருதிகளுக்கிடையே விநாடிக்கு 6 விம்மல்கள் கேட்கின்றன. விசைகள் பரிமாறப்பட்டால் எத்தனை விம்மல்கள் கேட்கும் ?

13. மெல்டியின் நெட்டலைவு முறையில், கம்பியின் முனையில் விசைக்காகப் பயன்படுத்தப்பட்ட எடை முதலில் காற்றில் தொங்குகிறது. கம்பியின் நீளம் 120 செ.மீ. அது இரண்டு வளையங்களாகத் துடிக்கிறது. அதே எடை நீரில் மூழ்கியிருக்கும்படிச் செய்யப்பட்டபொழுது, அதன் நீளம் 165 செ.மீ.; 3 வளையங்களாகத் துடிக்கிறது. எடையின் மதிப்புக் காற்றில் 50 கி. என்றால் அதன் ஒப்படர்த்தியைக் கணக்கிடுக.

14. 0° செ.கி. வெப்பநிலையில் காற்றில் ஒலியின் வேகம் 332 மீ./செ., 100° செ. வெப்ப நிலையில் கரியமிலவாயுவில் ஒலி வேகம் என்னவென்பதைக் கணக்கிடவும். திட்ட வெப்ப நிலை அழுத்தத்தில் கரியமிலவாயுவின் அடர்த்தி காற்றின் அடர்த்தியில் 22/15 பங்கு என்று கொள்ளவும்.

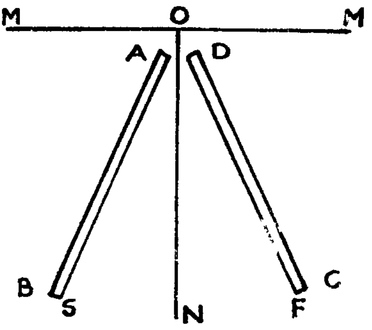
15. இழுவிசைக்குட்பட்ட ஒரு கம்பியின் நீளம் 100 செ.மீ. இரண்டு குதிரைகளால் (bridges) அது மூன்று பாகமாகப் பகுக்கப்பட்டுள்ளது. இம் மூன்று பாகங்களின் மூல சுரங்களின் அதிர்வெண்கள 1 : 2 : 3 என்ற விகிதத்தில் இருக்கவேண்டுமாயின், மூன்று பகுதிகளின் நீளங்களென்ன?

3. ஒலி அலைகளின் குணங்கள்

1. ஒலியும் ஒளியும்: ஓர் இடைநிலைப் பொருளின் வழியே ஒலி அலைகள் பரவுவது, ஈதர் வழியே ஒளி அலைகள் பரவுவதற்கு ஒப்பாகும். பொதுவாக ஒளி அலைகளின் குணங்கள் யாவுமே ஒலி அலைகளுக்கும் பொருந்தும். ஆனால், ஒலி அலைகள் தள விளைவுக் (polarisation) குட்படமாட்டா. ஏனெனில், இடைநிலைப் பொருள்களில் எப்பொழுதுமே நெட்டலைகளாகத்தான் பரவுகின்றன; குறுக்கலைகளாகப் பரவுவதில்லை. மேலும், இவ்விரண்டு அலைகளுக்குமிடையேயுள்ள வித்தியாசங்களுக்கு முக்கிய காரணம், ஒலி அலைகள் ஒளி அலைகளைவிட சுமார் ஒரு லக்ஷம் மடங்கு பெரிதாக இருப்பதுதான். அதே காரணத்தால்தான் ஒலி அலைகள் பரவுவதற்கு ஓர் இடைநிலைப் பொருள் தேவைப்படுகிறது; ஈதரில் ஏற்படும் தகைவு திரிபுகள் நீண்ட ஒலி அலைகள் பரவுவதற்கான வலிமையுடையதாக இருப்பதில்லை.

2. ஒலியின் எதிரொலிப்பு: ஒலி அலைகள் இடைநிலைப் பொருளொன்றின் எல்லையை அடையும்பொழுது ஒளியைப் போலவே எதிரொலிக்கின்றன. படுகோணங்களும் எதிரொலி கோணங்களும் சமமாக இருக்கும். படு அலைகளும் எதிரொலி அலைகளும் ஒரே தளத்தில் (plane) அலைவுறுகின்றன. இந்த இரண்டு ஒலி எதிரொலி விதிகளை விளக்க ஒரு சிறிய சோதனையை விவரிக்கலாம். *AB*, *DC* என்னும் இரு குழாய்கள் அவற்றின் முனைகள் *A*, *D* ஒன்றுக்கொன்று மிக நெருக்கமாக வைக்கப்பட்டுள்ளன. பெரிய அதிர்வெண்ணுடன் ஒலியெழுப்பக்கூடிய ஒரு பொருள் *S* என்ற இடத்தில் வைக்கப்பட்டுள்ளது. *F* என்பது ஓர் உணர்வு நுட்பச் சுடர் (sensitive flame). *M M* என்பது பளபளப்பான, எதிரொலிக்கும் ஓர் உலோகத் தகடு. *S* என்னும் இடத்தில் கிளம்பும் ஒலிக் கதிர்கள், *BA* என்ற குழாய் வழியே சென்று எதிரொலித் தகட்டிற் படும். *O* என்ற புள்ளியைச் சுற்றி எதிரொலித் தகட்டைத் திருப்பினால், அது ஒரு குறிப்பிட்ட

நிலையிலிருக்கும்பொழுது ஒலி அதிகமாக இருக்கும். அப்பொழுது கோணங்கள் *SON*, *FON* இரண்டும் சமமாக இருக்கும். (*ON* என்பது *MM*-க்குச் செங்குத்துக் கோடு.) சுடர்க் கொழுந்து துடிப்பதைக் காணலாம். குழாய்களிரண்டும் படுக்கையாக இருக்க வேண்டும். ஏதாவது ஒரு குழாய் படுக்கை நிலையில் இல்லாதிருந்தால் சுடர்த் துடிப்பு அவ்வளவு விறுவிறுப்பாக இருக்காது. இவற்றினின்றும் மேற்கூறப்பட்ட இரண்டு எதிரொலி விதிகளும் உண்மையென்று விளங்குகிறது.



படம் 42

இதுபோலவே கோளப் பரப்புகளில் எதிரொலிப்பு நிகழ்வதையும் காட்டலாம். இரண்டு குழி ஆடிகளை ஒரே அச்சில் (axis) ஒன்றன்முன் ஒன்றாக இருக்கும்படி அமைக்க வேண்டும். ஓர் ஆடியின் குவியத்தில் (focus) ஒரு கைக்கடிகாரத்தையும், மற்றொன்றின் குவியத்தில் ஓர் இதயத் துடிப்புமானியையும் (stethoscope) வைத்தால் கடிகாரத்தின் டிக் டிக் என்னும் ஒலியைத் தெளிவாகக் கேட்கலாம்.

எதிரொலியின் பயன்கள்

(a) **எதிர் முழக்கம்:** கட்டட ஒலிக்கலையில் எதிரொலிக் கோட்பாடுகள் சிறந்த இடம்பெற்றுள்ளன. தொழில் நுட்ப முக்கியத்துவம் காரணமாக இவை பிறகு விளக்கப்படும். அறையிலோ அரங்கத்திலோ ஓர் இடத்திலெழுப்பப்படும் ஒலித்துடிப்பு எல்லாத் திசைகளிலும் ஒலி அலைகளைப் பரப்புகின்றன. எதிரொலிப்பு இல்லையென்றால், கேட்பவர் காதில் கூர்மையான ஒலிப்பதிவு ஏற்படும். ஆனால், சுவர்கள் ஒலியின் பெரும்பான்மையான அலைகளை எதிரொலிக்கின்றன. எனவே, ஒன்றன்பின் ஒன்றாக எதிரொலித்து வரும் அலைகள் வீச்சில் குறைந்து காதில் நுழைகின்றன. மூல அலைகளின் ஆற்றல் அழியும்வரை இது நிகழ்ந்துகொண்டேயிருக்கும். இதனால் சொற்களும் சொற்றொடர்களும் ஒன்றோடொன்று இடறி (overlap) பேச்சின் குழப்பத்திற்கும் கேட்போரின் தொல்லைக்கும் காரணமாகின்றன. இந்நிகழ்ச்சிக்கு எதிர் முழக்கம் (reverberation) என்று பெயர். இதனால் ஏற்படும் குழப்பம் தணிவதற்காகும் நேரம் எதிர் முழக்க

நேரம் (time of reverberation) எனப்படும். இசை நிகழ்ச்சி சிறப்பாக இருப்பதற்கும், பேச்சுக் குரல் இனிமையாக இருப்பதற்கும், ஒரு குறிப்பிட்ட எதிர் முழக்க நேரம் நிலவும்படி இசை அரங்கங்களும் விரிவுரை அறைகளும் கட்டப்படவேண்டியது அவசியம். ஆனால், இந் நேரம் அளவுடனில்லாவிட்டால் விளைவு நேர்மாறாகிவிடும்.

(b) இசை எதிரொலி: இணையாகவும் (parallel) சம தூரத்திலும் (equidistant) உள்ள பல எதிரொலிக்கும் பரப்புகள் ஒன்று சேர்ந்து வேலியைப் போன்ற கீற்றணியை (grating) அமைப்பதாகக் கொள்ளலாம். ஓர் ஒலித்துடிப்பு எழுந்தால், அது ஒன்றன்பின் ஒன்றாக ஒவ்வொரு வேலியிலும் பட்டுப் பன்முறை எதிரொலித்துத் திரும்புகிறது. அப்பொழுது அது பல துடிப்புகளாகச் சிதறுகிறது. ஒரு வேலியில் பட்டு எதிரொலித்துத் திரும்பும் துடிப்புச் சிதறலொன்று, அதற்கு முன்னுள்ள வேலியில் பட்டு எதிரொலித்துத் திரும்பும் சிதறலைவிடச் சற்று அதிக தூரம் சென்று அதனால் சற்று அதிக நேரங்கழித்துக் கேட்பவரின் காதில் விழுகின்றது. துடிப்புகள் தொடராகக் குறிப்பிட்ட இடைவெளி நேரங்களில் காதில் விழுவதால், இசை சுருதியொன்று உருவாகின்றது. இதன் அதிர்வெண்ணும் குறிப்பிட்ட மதிப்புடையதாக இருக்கும். இதற்குத்தான் இசை எதிரொலி (musical echo) என்று பெயர். வேலியோரங்களுக்கிடையேயுள்ள தூரம், ஒலி வேகம், எதிரொலிக்கும் துடிப்பின் திசை மாற்றம் இவை முறையே d, C, θ என்றால், எதிரொலியின் நேரம் அல்லது இரண்டு துடிப்புகளுக்கிடையேயுள்ள நேரம் $= \frac{2d \cos\theta}{C}$ என்று நிரூபிக்கலாம். ஆகவே, இசை எதிரொலியின் அதிர்வெண் $= \frac{C}{2d\cos\theta}$.
நேர்குத்துப் படுகைக்கு (normal incidence) $\theta = 0$.

$$\therefore \quad n = \frac{C}{2d}$$

ஆகையால், அணிக் கோவையில் (lattice) அடுத்தடுத்த வேலிகள் 15 செ.மீ. தூரத்திலிருந்தால்,

$$n = \frac{330 \times 100}{2 \times 15}$$

$$= 1100 \text{ து./செ. (சுமார்).}$$

மரத்தாலான மேற்பொருந்தும் (overlapping) வேலியின் பக்கமிருக்கும் தளம்போட்ட பாதையிலே குமிழாணியுள்ள மிதியடியை

அணிந்துகொண்டு நடந்தால் இசை எதிரொலி கிளம்புவதைக் கேட்கலாம். சில சமயங்களில் நாம் மாடிப்படி ஏறும்பொழுது, ஒவ்வோர் அடியும் எடுத்து வைக்கும்பொழுது இவ்வொலி கிளம்புவதைக் கேட்கலாம். இது மாடிப்படிகளில் அடுத்தடுத்து நிகழும் பாதத்தின் எதிரொலியால் ஏற்படும். எதிரொலிகள் எல்லாம் ஒன்றாக இணையும்பொழுது இசையொலி யெழும்பும்.

(c) மேல்சுர எதிரொலி (Harmonic echo): பல்கூட்டு ஒலி (complex note) ஒரு பரப்பில் பட்டு எதிரொலிக்கும்பொழுது, எதிரொலி மூல ஒலியின் உண்மையான பிரதிபலிப்பாக இல்லாமலிருக்கலாம். பரப்பு வரம்பற்றதாக இருந்தால் எதிரொலியில் சில அலைகள் மற்ற அலைகளைவிட எடுப்பானவையாக இருக்கும். எடுப்பாக உள்ள அலை நீளங்கள் பொதுவாக எதிரொலி மண்டலத்தின் ஒத்திசை அலை நீளங்களைப் பொறுத்திருக்கும்.

ஒரு பரப்பு, ஒலியை எதிரொலிக்கும்பொழுதோ அல்லது சிதறடிக்கும்பொழுதோ, சிதறிய ஒலியின் செறிவு (1) சிதறடிக்கும் பொருளின் பருமனின் இருமடிக்கு நேர்விகிதத்திலிருப்பதாகவும், (2) அலை நீளத்தின் நான்மடிக்கு எதிர்விகிதத்திலிருப்பதாகவும் ராலே என்பவர் நிரூபித்துள்ளார்.

$$i.e.\quad I \propto \frac{V^2}{\lambda^4}$$

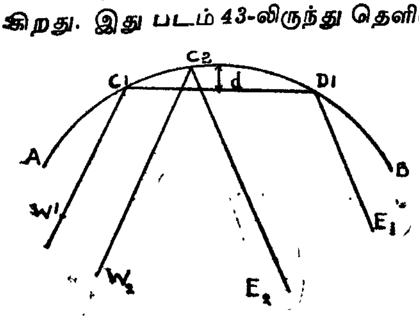
ஆகையால், மூல ஒலியில் மேல்சுரங்களிருக்குமாயின் எதிரொலியில் உயர் மேல்சுரங்கள் (Higher Harmonics), கீழ் மேல்சுரங்களையும் (Lower Harmonics), மூல (Fundamental) சுரத்தையும் விட அதிகச் செறிவுடன் விளங்கும். உதாரணமாக எண்மனின் (octave) செறிவு, மூல சுருதியின் செறிவைவிடப் பதினாறு மடங்கு அதிகமுள்ளதாக இருக்கும். மேல்சுருதிகள் மிகச்செறிவுடன் காணப்படுவதால் இந்த எதிரொலிக்கு மேல்சுர எதிரொலி என்று பெயர். மேல்சுர எதிரொலிகள் பெரும்பாலும் இசையின் செழிப்பை வளமாக்குகின்றன. இசைக் கருவிகளைச் செய்யும் பொழுதே வேண்டிய மேல்சுரங்களை அதிகமாக வளமாக்கிக் கொள்வது மரபு.

(d) மெல்லொலி மாடம் (whispering gallery): மெல்லொலிக் கூடங்களை அமைப்பது எதிரொலியின் மற்றொரு முக்கியமான உபயோகமாகும். உலகில் பல இடங்களில் குவிமாடங்களுடன் திறமையாகக் கட்டப்பட்ட அரங்குகள் எவ்வளவோ உள்ளன. இவற்றில், குவிமாடத்திற்குக் கீழே (dome) சில இடங்களில் மிக இரகசியமாகப் பேசினாலும், அப்பேச்சு பேசப்பட்ட இடத்திற்கு

நேர் எதிரேயுள்ள இடங்களில் தெளிவாகக் கேட்கின்றது. ஆனால், இடையேயுள்ள இடங்களில் கேட்பதில்லை. இவ்வாறு நிகழக் கூடிய கட்டடங்களுக்கு மெல்லொலி மாடம் (whispering gallery) என்று பெயர்.

இந் நிகழ்ச்சிக்கு எளிய விளக்கம் கொடுக்கலாம். மாடத்தின் ஒரு பகுதி எதிரொலிக்கும் பரப்பாக அமைகிறது. இது ஒலி அலைகளை இணையாகப் (parallel) பரவும்படி செய்கிறது. எதிர்ப் புறத்தேயுள்ள மாடத்தின் பகுதி இவ்வலைகளை வாங்கி, மறு கோடியிலுள்ள ஓர் இடத்தில் குவிக்கின்றது (focusses). குவிக்கப் பட்ட இடத்தில் பேச்சு தெளிவாகக் கேட்கும்; மற்ற இடங் களில் கேட்காது. சிசிலி நாட்டில் கெர்கன்டி (Girgenti) என்னு மிடத்திலுள்ள மாதாகோவில், ரோமாபுரியிலுள்ள புனித ஜான் லான்டர்ன் (St. John Lantern) மாதாகோயில், வாஷிங்டன் நகரிலுள்ள ஸ்ட்ராஸ் மன்றம் (Hall of Strauss) முதலியவற் றிற்கு இவ் விளக்கம் நன்ருகப் பொருந்தும். ஆனால், டண்டன் மாநகரிலுள்ள செய்ண்ட்பால் மாதாகோவில் (St. Paul Cathedral), இன்னும் இந்தியாவிலேயே உள்ள சில கட்டடங்கள், கூடங்கள் முதலியவற்றிற்கு இவ் விளக்கம் போதாது. இங்கெல்லாம் பேச்சுக் கேட்கும் இடங்கள் பல; மேலும் இவ்விடங்கள் சமச் சீரற்று (unsymmetrical) இருக்கின்றன.

ஒலி கேட்குமிடம் மாடத்தில் பேசுபவருக்கு எதிர்முனையில் இருக்கவேண்டியதில்லையென்றும், அதனல் கட்டடத்தின் சமச் சீரமைப்புக்கும் ஒலி கேட்கப்படுவதற்கும் தொடர்பில்லையென்றும் ராலே அவர்கள் கூறியுள்ளார்கள். அலைகள் மாடத்தைச் சுற்றி நகர்வதுபோல் தோன்றுகின்றன. சுவரை உறுதியாகப் பற்றிக் கொண்டு கேட்பவரின் காதுக்குச் செலுத்தப்படுவதாகத் தோன்று கிறது. இது படம் 43-லிருந்து தெளிவாகும். AB என்பது கூடத்தின் ஒரு பகுதியின் வெட்டுவாய். பேசுபவர் W_1 என்னும் இடத் திலுள்ளார். ஒலிக்கதிர் $W_1 C_1$ என்ற திசையில் சென்று சுவரில் தொடர்ந்து ஒன்றன் பின் ஒன்ருக C_1 D_1...என்னும் இடங்களில் எதிரொலித்துச் சுவரோரமாகவே செல்கின் றது. பேசுபவர் W_2 என்னும் இடத்திலிருந்தால் ஒலி W_2



படம் 43

C_2 என்ற திசையிற் சென்று C_2...முதலிய இடங்களில் எதி

ரொலித்துச் சில சமயங்களில் சுவரை விட்டு வெகுதூரம் சென்று விடுகிறது. மேலும் W_2 என்ற இடத்திலிருந்து செல்லும் தூரத்தை விட W_1 என்னும் இடத்திலிருந்து செல்லும் தூரம் குறைவாக இருக்கிறது. எனவே, பேசுபவர் சுவரையொட்டியிருந்தால், குறிப்பிட்ட திசையில் செல்லும் ஒலி சுவரின் ஓரமாகவே சென்று, சுவரையடைந்தவுடன் உரத்து ஒலிக்கிறது. இக் காரணங்களால் வட்டச் சுவரின் உட்பக்கம் எழுப்பப்பட்ட ஒலி சுவரோரமாக வேகத்துடன் செல்கின்றது. சுவரே ஒரு பேசும் குழாய் போல், ஒலியைத் தன்னோரமாக இழுத்துப் போகின்றது.

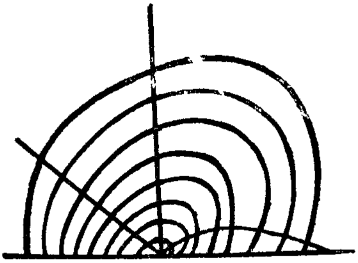
ஒலியின் குரல் உயர உயர அதன் வேகமும் அதிகரிக்க வேண்டும் என்பது மற்றுமோர் இரகசியம். திண் சுவரில் (rigid boundary) ஏற்படும் எதிரொலியாலும், குவியற் செயலாலும் சுவரின் அருகே குரல் உயர்ந்து ஒலிக்கின்றது. எனவே, சுவரருகேயுள்ள அலைகள் சுவரின் வளைவுடன் நகர்ந்து வேகமாகச் செல்கின்றன.

சர் சி. வி. ராமனும், சதர்லண்டும் ஆராய்ச்சி செய்து, ராலே வெளியிட்ட நிபந்தனைகள் அவசியமென்றாலும், அவை மாத்திரம் போதாவென்றும் இன்னும் ஒரு நிபந்தனையாகிலும் அவசியமென்று கண்டனர். ஸபைன் (Sabine) என்பவர் இந்த நிபந்தனையையும் கண்டுபிடித்தார். மெல்லொலிக் கூடங்களின் செயல்முறைக்குச் சுவர்களின் உட்பக்கம் சாய்ந்திருப்பது மற்றுமொரு காரணமென்றார். இச் சாய்வினால் ஒலியானது தரைமட்டத்திற்குக் கொண்டுவரப்படுகிறது. இதனால் சுவரின் விளிம்பில் ஏற்படும் எதிரொலியாலும், ஒலி சிதறாமல் காக்கப்பட்டுச் செறிவேற்றமடைகிறது. பூகம்ப அதிர்ச்சிகூட இதே விதத்தில்தான், ஒலி பூமி மட்டத்துடன் வளைந்த பாதை வழியாக வெகு தூரத்திற்குப் பரவுவதாகக் கருதப்படுகிறது.

ஒலி விலகல் (Refraction): அடர்த்தியும் மீட்சியலும் வேறுபாடுள்ள இரண்டு இடைநிலைப் பொருள்களைக் கவனிப்போம். ஒலி அலைகள் ஒன்றிலிருந்து மற்றொன்றிற்குள் புகும்பொழுது அவற்றின் வேகம் மாறுதலடைகின்றது. அப்பொழுது அவை தங்களது பாதையிலிருந்து விலகிச் செல்கின்றன. இந் நிகழ்ச்சிக்கு ஒலி விலகல் எனப் பெயர். காற்றானது பல பகுதிகளில் பல வெப்ப நிலைகளிலிருந்தால், அப்பொழுதும் ஒலி விலகலேற்படுவதுண்டு. வாயு மண்டலத்திற்கூட வெப்பநிலை வாட்டங்களேற்பட்டு ஒலி விலகலுண்டாகும். சில சமயங்களில் காற்று வீசும் போது அடி மண்டலங்களில் காற்றின் வேகம் குறைவாகவும்,

மேல் மண்டலங்களில் காற்றின் வேகம் அதிகமாகவும் இருப்ப துண்டு. அப்பொழுது ஒலி அலைகள் காற்றின் திசையிலேயே சென்றால் தரைப் பக்கமாகவும், காற்றிற்கு எதிராகச் சென்றால் மேல்பக்கமாகவும் விலகிச் செல்லும்.

காற்றுவேக வாட்டங்களும் ஒலிவிலகலும்: தரை மட்டத்தி லிருந்து மேலே செல்லச் செல்ல காற்றின் வேகம் அதிகரிக்கும். இதனால் ஒலி அலைமுகங்கள் (wave fronts) படத்திற் கண்ட படி ஆட்டப்படுகின்றன. எப் பொழுதுமே ஒலிக்கதிர்கள் அலை முகத்திற்குச் செங்குத்தாக இருக்கும். ஆகையால், காற்று வீசும் திக்கிலேயே ஒலியும் சென் றால், ஒலிக்கதிர்கள் வளைந்து தரையைத் தொடும். ஒலியும் தரைமட்டத்தில் செல்லும்.

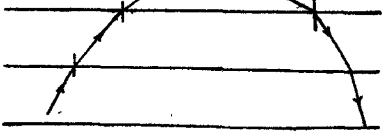


படம் 44

யாரேனும் காற்றுப் படாத திசையில் தரைமட்டத்திலிருந்தால் அவருக்கு ஒலி நன்றாகக் கேட்கும். ஆனால், ஒலி தரையில் உருண்டு செல்வதனால் அதன் செறிவு மிகவும் குறைந்து காணப்படும்.

காற்றடிக்கும் திசைக்கு எதிர்த்திசையில் ஒலி சென்றால், ஒலிக்கதிர்கள் விலகி மேலே செல்லும். அநேகமாகக் கேட்போரின் காதை ஒலி எட்டுவதில்லை. ஆனால், மேலேயிருந்து கேட்போ மானால், ஒலிச்செறிவு தரையில் புரண்டு செல்லாததால், அதி கரித்துக் காணப்படும்.

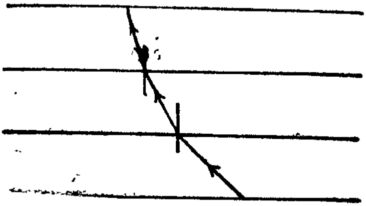
வெப்பநிலை வாட்டங்களும் ஒலி விலகலும்: மேலே போகப் போக வெப்பநிலை அதிகரித்தால், ஒலியின் வேகமும் அதிகரிக்கும். செங்குத்தாக மேலே செல்லும் ஓர் ஒலிக்கதிர் அடர்த்தி அதிக மான மண்டலத்திலிருந்து அடர்த்தி குறைவான மண்ட லத்திற்குச் செல்கிறது. எனவே, நேர்குத்துத் (normal) திசையிருந்து ஒலி விலக லடைந்து, வளைந்துசென்று, ஒரு கட்டத்தில் முழு எதிரொலிப்பு (total reflection) அடைகிறது. அப்பொழுது வெகு தூரத்திலுள்ளவர்களுக்கும் ஒலி கேட்கும்.



படம் 45

மேலே செல்லச் செல்ல வெப்பநிலை குறைந்தால், ஒலிக் கதிரின் வேகமும் குறைந்துகொண்டே போகும். ஆகையால், அது நேர்குத்துத் திசையை நோக்கி விலகலடைந்து, வளைந்து வளைந்து மேலே சென்றுவிடுகிறது. ஆகவே, அருகில் உள்ளவர்களுக்கும் ஒலி கேட்பதில்லை.

இக் காரணத்தினால்தான் பகலைவிட இரவு நேரத்தில் ஒலி வெகு தூரம்வரை கேட்கிறது. இரவில் அமைதி நிலவுவதோடுகூட, மேல்மண்டலங்களில் வெப்பநிலை அதிகமாக இருப்பதால் ஒலிக் கதிர்கள் வளைந்து வந்து வெகு தூரம் கேட்கின்றன. காற்று ஓர் எளிய வெப்பக் கடத்தி. ஆகையால், பூமியும் அதைச் சார்ந்த இடங்களும் பகலில் சீக்கிரம் வெப்பமடைந்து விடுகின்றன; காற்றடுக்குகள் அப்படி வெப்பமடைவதில்லை. ஒலி வேகம் தரை மட்டத்தில் அதிகமாகவும், மேலே போகப்போக குறைவாகவும் இருக்கிறது. எனவே, ஒலி விலகலால் அது மேலே சென்றுவிடுகிறது. பகல் வேளையில் இரைச்சலும் அதிகமாகவுள்ளது. சமீபத்திலுள்ளவர்கள் கூடக் கேட்பது எளிதன்று. ஆனால், இரவு வேளைகளில் பூமி சீக்கிரமே குளிர்ந்துவிடுகிறது. ஒலி மேலே செல்லச் செல்ல அடர்த்தி குறைவான மண்டலங்களில் பிரவேசிப்பதால் விலகலடைந்து வளைந்து வெகுதூரஞ் சென்று பூமியை அடைகிறது; தரையில் உருண்டு, உராய்தலால் செறிவு குறைந்து, வலிவில்லாவிடினும் வெகு தூரத்திற்கப்பால் கேட்கிறது.

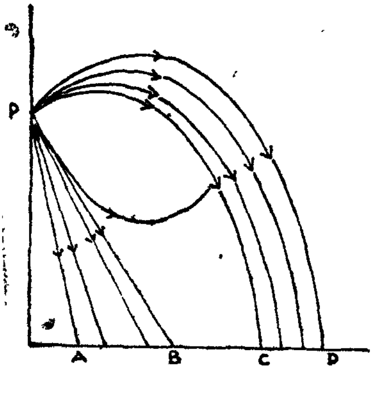


படம் 46

அமைதி மண்டலங்கள் (Zones of Silence): ஆகாயத்தில் வெடிப்பொலி யுண்டாகும்போது வியப்பானதொரு நிகழ்ச்சியேற்படுவதைக் காணலாம். வெடித்த இடத்திலிருந்து வெகு தூரத்திற்கு வெடிப்பொலி கேட்கும். பிறகு பல மைல்களுக்கு ஒன்றுமே கேட்காது. மீண்டும் வெகு தூரத்திற்கு இரண்டாம் முறை ஒலி கேட்கும். ஒலியே கேட்காத மண்டலம் சுமார் 80 கி. மீட்டரிலிருந்து 150 கி. மீட்டர் வரையில் பரவியிருக்கும். இதற்கு அமைதி மண்டலமென்று பெயர். ஒலி கேட்கும் முதல் மண்டலத்தில் ஒலி பரவும் நேரம் ஒலியின் வேகத்தைப் பொறுத்துள்ளது. ஆனால், இரண்டாவது மண்டலத்திலோ, ஒலியின் வேகத்திலிருந்து நாம் என்ன நேரத்தைக் கணக்கிடுவோமோ அதைவிட வெகு நேரங்கழித்து ஒலி வந்து சேருகிறது. இதிலிருந்து

இரண்டாவது மண்டலத்தில் ஒலியின் வேகம் குறைந்திருக்கிறதென்றோ அல்லது ஒலி சுற்றுப் பாதையில் செல்கிறதென்றோ தோன்றும்.

உள் மண்டலத்தில் முதன் முதலில் ஒலி அதிக வேகத்தில் வியாபித்து, பிறகு சரியான வேகத்தில் செல்கிறது. நேராகச் செல்லும் அலைகள், தரைமீது செல்லும்பொழுது கொஞ்சங் கொஞ்சமாகக் குறைந்து சுமார் 80 கி.மீ. தூரத்தில் முற்றிலும் அழிந்துவிடுகின்றன. படத்தில் கண்டுள்ள AB என்ற இந்த மண்டலம், கேட்கும் முதல் மண்டலம் எனப்படும். அலைகள் அழிந்துவிடுவதால் B-யிலிருந்து C-வரை அமைதி நிலவும். இதற்கு அமைதி மண்டலமென்று பெயர். 150 கி. மீட்டருக் கப்பால் மீண்டும் ஒலி கேட்கும். இதற்கு இரண்டாம் கேட்கும் மண்டலமென்று பெயர். வெடிப்பொலியுண்டாகிய P என்ற இடத்திலிருந்து ஒலி அலைகள் வெகு உயரத்திற்கு மேலே சென்று, பிறகு ஒலி விலகலால் வளைந்து 150 கி. மீட்டர்களுக்கப்பால் பூமியை வந்தடைகின்றன. மேலே செல்லச் செல்ல வெப்ப நிலை வேகமாகக் குறைந்து, சுமார் 30 கி.மீ. உயரத்திலிருந்து 50 கி.மீ. உயரம் வரை நிலையாக 55° செ.கி. வெப்ப நிலையிலிருப்பதாகச் சோதனைகள் மூலம் தெரிகின்றது. இந்த மண்டலத்தில் நுழையும் ஒலி அலைகள் குறையும் வெப்பநிலை வாட்டத்தால் நேரே வெட்டவெளிப் பிரதேசத்தில் சென்று மறைந்து விடுகின்றன. ஆனால், 50 கி. மீட்டர் உயரத்திலிருந்து 65 கி. மீ. உயரம்வரை மறுபடியும் வெப்பநிலை 25° செ.கி.-க்கு உயர்ந்துவிடுகிறது. இந்த மண்டலத்தில் நுழையும் ஒலி அலைகள் கீழே வளைந்து ஒரு கட்டத்தில் முழு எதிரொலிப்படைந்து வெகு தூரத்திற்கப்பால் பூமியை அடைகின்றன. மேல் உயரங்களில் பல வெப்பநிலை மண்டலங்கள் ஏற்படுகின்றன. அதற்குத் தகுந்தாற்போல் பல அமைதி மண்டலங்களும், ஒலி கேட்கும் மண்டலங்களும் மாறி மாறி ஏற்படுகின்றன. ஆனால், இந்த மண்டலங்களில் கேட்கும் ஒலி மிகவும் செறிவு குறைந்து, கேட்பது அரிதாக நேரிடும்.



படம் 47

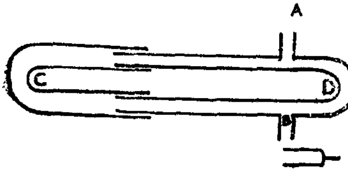
ஒலிக் குறுக்கீட்டு விளைவு (Interference of Sound) : ஒளியியலில் ஏற்படுவது போலவே ஒலியியலிலும் குறுக்கீட்டு விளைவு நிகழ முடியும். இரண்டு ஒலி அலைக் கூட்டங்கள் ஒன்றையொன்று மாறும்பொழுது, இரட்டை இறுக்கங்களோ இரட்டைத் தளர்த்திகளோ ஏற்படலாம். அல்லது ஒன்றையொன்று அழித்தும் கொண்டும் விடலாம். ஓர் அலை இறுக்க நிலையிலும், மற்றொன்று தளர்த்தி நிலையிலும் இருந்து ஒன்றையொன்று தாண்டும் பொழுதுதான் இவை அழிந்துபடுகின்றன. இந் நிகழ்ச்சிக்குத் தான் ஒலியின் குறுக்கீட்டு விளைவு என்று பெயர். இரண்டு அலைக் கூட்டங்கள், ஒன்று இறுக்கநிலையிலும் மற்றொன்று தளர்த்தி நிலையிலும் ஒரே சமயத்தில் சந்திப்பது இரண்டு காரணங் களாலேற்படலாம். இரண்டு அலைகளும் ஒரே சமயத்தில் உற் பத்தியானபோதும், அவற்றின் அலைவு எண்கள் மாறுபட்டிருந் தால் சற்று நேரங்கழித்து ஒன்று இறுக்க நிலையிலும் மற்றொன்று தளர்த்தி நிலையிலுமிருக்கக்கூடும். இதனால் ஒலியில் உரப்பு மாறு பாடு ஏற்படும். இந் நிகழ்ச்சிதான் விம்மல்களை உண்டுபண்ணு கின்றது.

ஆனால், இரண்டு அலைக் கூட்டங்களுக்குமே அலைவு எண் ஒன்றாக இருந்து, அவற்றின் அதிர்வுநிலையில் (phase) வேறு பாடுகள் இருந்தால், அப்பொழுதும் ஒலி உரப்பில் ஏற்றத் தாழ்வுகள் உண்டாகும். இந் நிகழ்ச்சிக்கு ஒலிக் குறுக்கீடு என்று பெயர். இரண்டு அலைகளுக்குமுள்ள அதிர்வுநிலை வேறுபாடு (phase difference) P, 2π, 4π, 6π......அதாவது π-யின் இரட்டைப் படையாக இருந்தால், இரண்டு அலைகளின் முகடுகளும் ஓர் இடத்தில் சந்திக்கும். ஒலியின் உரப்பு வளர்ச்சியடைந்து பெரும மடையும். அதிர்வுநிலை வேறுபாடு π, 3π, 5π...அதாவது π-யின் ஒற்றைப் படையாக இருந்தால் ஓர் அலை முகடு நிலையிலும், மற்றொன்று அகடு (trough) நிலையிலும் ஒரே இடத்தில் சந்திக்கும். அப்பொழுது ஒலியின் உரப்புத் தேய்வுறும்; ஒலியின் உரப்பும் சிறுமநிலை யடையும். ஒலியின் உரப்பு மாறி மாறி பெருமமும் சிறுமமும் அடைவதுதான் ஒலியின் குறுக்கீட்டு விளைவு எனப்படும்.

ஒரே இடத்திலிருந்து கிளம்பும் இரு ஒலி அலைகள் வெவ்வேறு வழிகளில் சென்று, பின் ஒன்று சேரும் பொழுதும் இந்நிகழ்ச்சி ஏற்படக்கூடும். ஒன்று சேரும்போது இரு அலைகளுக்கிடையே யுள்ள பாதை வேறுபாடு $\frac{\lambda}{2}, \frac{3\lambda}{2}, \frac{5\lambda}{2}$ ...... $(2n-1)\frac{\lambda}{2}$ ஆக இருந் தால் அதிர்வுநிலை வேறுபாடு π, 3π, 5π ... $(2n-1)\pi$ ஆக இருக்கும். அப்பொழுது முன்போல ஒலியின் உரப்புச் சிறுமநிலை

அடையும். பாதை வேறுபாடு 0, $2\frac{\lambda}{2}$, $4\frac{\lambda}{2}$, $6\frac{\lambda}{2}$ .. $2n\frac{\lambda}{2}$ என்றிருந்தால், அதிர்வுநிலை வேறுபாடு 0, 2π, 4π, 6π...$2n\pi$ என்றிருக்கும். அப்பொழுது ஒலியின் உரப்புப் பெரும நிலையை அடையும்.

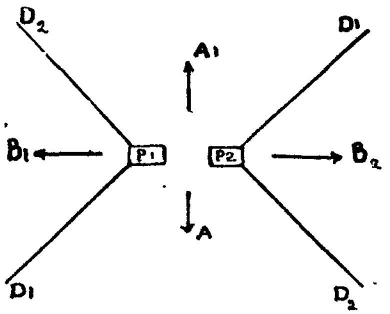
குவிங்கேயின் ஒலிக் குறுக்கீட்டுக் குழாய் (Quincke's Interference Tube): C, D என்பன ஒன்றுக்குள் ஒன்று நுழையக்கூடிய, U உருவமுடைய இரண்டு குழாய்கள். D என்னும் குழாயில் A, B என்ற இடங்களில் இரண்டு பக்கக் குழாய்கள் ஒட்டப்பட்டுள்ளன. இயக்கப்பட்ட இசைக் கவடு ஒன்று B என்னும் துவாரத்திடம் வைக்கப்பட்டுள்ளது. A என்னும் துவாரம் ஒரு தலை ஒலியத்துடன் (head phone) இணைக்கப்பட்டுள்ளது. B-யிலிருந்து A-க்கு ஒலி இரண்டு வழிகளில்—அதாவது BDA, BCA வழிகளில்—வந்து சேரலாம். இரண்டு வழிகளிலும் வந்து சேரும் அலைகளுக்குள்ள பாதை வேறுபாடு $=BCA-BDA$. இவ் வேறுபாடு $(2n-1)\frac{\lambda}{2}$ ஆக இருந்தால், ஒலியின் உரப்புச் சிறும நிலையிலிருக்கும்; $2n\frac{\lambda}{2}$ ஆக இருந்தால், பெரும நிலையிலிருக்கும். இந்நிலைகளைத் தலை ஒலியத்தில் கேட்கலாம். இரண்டு குழாய்களையும் ஒன்றனுள் ஒன்றைத் தள்ளியோ, வெளியே இழுத்தோ பாதை வேறுபாடுகளை $2n\frac{\lambda}{2}$ ஆகவும், $(2n-1)\frac{\lambda}{2}$ ஆகவும் மாற்றி ஒலியின் உரப்பு மாறி மாறி பெருமமாகவோ, சிறுமமாகவோ இருக்கும்படி செய்து கேட்கலாம். இரண்டு சிறும ஒலி உரப்புகளிடையே ஒரு குழாயை மற்றொன்றிலிருந்து d தூரம் இழுத்தால், ஒலிஅலையின் நீளம் $2d$ என்று விளங்கும். ஒலியின் வேகம் தெரிந்தால் இசைக்கவட்டின் அதிர்வெண்ணைக் கணக்கிட முடியும். அதிக சுருதியுள்ள (pitch) இசைக்கவடுகளின் அதிர்வெண்களைக் கண்டுபிடிக்க இம்முறை பயன்படுத்தப்படுகிறது.



படம் 48

இசைக்கவடும் ஒலிக் குறுக்கீடும்: ஓர் இசைக்கவட்டை வைத்துக் கொண்டே ஒலிக் குறுக்கீடு எப்படி நிகழ்கின்றதென்பதை நன்றாகச் செய்து காட்டலாம். P_1, P_2 என்பன இசைக்கவட்டின் இரு முள்

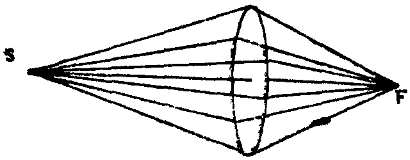
களின் குறுக்குத் தோற்றம். இசைக்கவட்டைத் தட்டிவைத்தால் P_1, P_2 என்ற இரண்டு முனைகளும் மாறி மாறி நெருங்கியும் விலகியும் துடிக்கும். இரண்டு முள்களும் நெருங்கும்பொழுது அவற்றிற்கிடையேயுள்ள காற்றைப் பிழிந்து ஓர் இறுக்கத்தை உண்டாக்குகின்றன. அவற்றின் பின் பக்கங்களில் B_1, B_2 என்னுமிடங்களில் தளர்த்திகள் ஏற்படுகின்றன. இவற்றின் விளைவு, B_1, B_2-க்குச் செங்குத்தான திசையில் (அதாவது A A_1 என்னும் திசையில்) நெருக்கமும், B_1B_2 என்ற திசையில் தளர்த்தியும் ஏற்படுகின்றன. இரண்டு முள்களும் விலகும்பொழுது B_1,B_2 என்ற திசையில் நெருக்கத்தையும், A, A_1 என்ற திசையில் தளர்த்தியையும் ஏற்படுத்தும். இந்தத் திசைகளில் ஒலியின் உரப்புப் பெரும நிலையிலிருக்கும். ஆனால், A, A_1 திசைகளில் பரவும் அலைகளுக்கும், B_1 B_2 என்ற திசையில் செல்லும் அலைகளுக்கும் எப்பொழுதும் அதிர்வுநிலை வேறுபாடு π-க்குச் சமமாக இருக்கும். D_1, D_2 என்ற திசைகளிலும் அலைகளின் அதிர்வுநிலை வேறுபாடு π-க்குச் சமமாக இருக்கும். ஆகையால், இந்த நான்கு திசைகளிலும்—D_1, D_2, D_1, D_2—அமைதி நிலவும். எனவே, B_1, B_2, A, A_1 என்ற திசைகளில் பெரும உரப்பும், D_1, D_2, D_1, D_2 என்ற திசைகளில் சிறும உரப்பும் (அமைதியும்) ஒலிக்கு உண்டு. இசைக்கவட்டைத் தட்டி, காதருகே வைத்துச் சுழற்றினால் இந் நிகழ்ச்சி நன்றாகப் புலனாகும்.



படம் 49

ஒலியின் விளிம்பு விலகல் (Diffraction of Sound): நாம் ஓர் அறையிலும், ஒலியெழுப்பும் பொருளொன்று பக்கத்திலுமிருந்தால், எழுப்பப்படும் ஒலியை நாம் சுலபமாகக் கேட்கலாம். தடைகளைத் தாண்டி ஒலி, கேட்பவரை அடைகிறது. இந் நிகழ்ச்சிக்குத்தான் ஒலி விளிம்பு விலகல் என்று பெயர். ஒலி அலைகளின் நீளம் மிகப் பெரியதாக இருப்பதால் இவ் விளைவு நிகழ்வதைச் சுலபமாக உணர முடிகிறது. ஆனால், செவியுணரா ஒலியைப்போல் (ultrasonics) அதிக அதிர்வெண்ணும், அதனால் குறைந்த அலை நீளமும் உள்ள ஒலியைக் கண்டு விளிம்பு விலகலைக் காண்பதரிது. இருந்தபோதிலும், ஒளியியலைப் போலவே, ஒலியியலிலும் விளிம்பு விலகலையும் அதன் விளைவுகளையும் அறிய முடியும்.

ராலே என்பவர் வட்டமான தகட்டைக்கொண்டு ஒலி எப்படி விளிம்பு விலகலுக்காளாகிறதென்பதை நன்றாக விளக்கியுள்ளார். வட்டத் தகடொன்றைச் செங்குத்தாக நிறுத்தி, அதன் அச்சு மேல் ஒரு பக்கத்தில் ஒலி எழுப்பும் பொருளொன்றையும், மறுபுறத்தில் ஓர் உணர்வு நுட்ப அனலையும் (sensitive flame) இருத்தினர். ஒலி யெழுப்பும் பொருள் குருவிக் குரல் (Bird Call) போன்ற அதிக அதிர்வெண்ணுடைய ஒலியைக் கிளப்ப வல்ல ஏற்பாடு. அத்தகைய ஒலியின் அலை நீளம் சுமார் 1 செ.மீ. ஒலியை எழுப்பியவுடன் அனற்கொழுந்து கிளர்ந்தெழுந்தது. இதனின்றும் S என்னும் இடத்திலெழுப்பப்பட்ட குரல் தகட்டின் விளிம்புகளைத் தாண்டிச் சென்று, F என்னும் இடத்திலுள்ள அனலைத் தூண்டிற்றென விளங்குகிறது.



படம் 50

டக்கர், பாரிஸ் என்பவர்கள் பத்தடி விட்டமுள்ள ஒரு மரத் தகட்டைப் பயன்படுத்தி ஒலியெழுப்ப ஒரு மின்காப்பு இசைக் கவட்டையும் (electrically maintained tuning fork), விளிம்பு விலக்கம் பெற்ற ஒலியை ஆராய ஒரு வெப்பக்கம்பி மைக்ரோஃபோனையும் (hot wire microphone) தகட்டின் இருபுறங்களிலும் அதன் அச்சின்மீது பொருத்தினர். ஒளி விளிம்பு விலகலைப் போலவே ஒலி விலகலும் ஏற்படுகின்றதென்று காட்டினர்கள். அச்சின்மீது ஒரு மத்தியப் பெருமமும் (central maximum), அதைச்சுற்றி அமைந்து நிலவும் வளையமான பகுதியும், அதையும் சுற்றி வளையமாகவே இரண்டாவது பெருமமும் (secondary maximum) இருப்பதைக் காண்பித்தனர்.

நேர் விளிம்பிலும் (straight edge), செவ்வக துவாரத்திலும் விளிம்பு விலகல் நிகழுமென்பதை ஹம்பி என்பவர் சோதனை மூலம் காட்டினர். அட்டையாலான வளைவடிவ மண்டிலங்களை (annular zones), பொது மையமாக (concentrically) அமைத்து மண்டிலத் தட்டைச் (zone plate) செய்து அது எப்படி ஒலியைக் குவியச் செய்கிறது என்பதையும் கண்டுள்ளனர். ஒரு மில்லி மீட்டர் முதல் ஆறு மில்லி மீட்டர் வரை விட்டமுள்ள கண்ணாடிக் கோல்களை இணையாகவும் ஒரு சென்டி மீட்டர் இடைவெளி விட்டும் அமைத்து ஆல்ட்பெர்க் (Altberg) என்பவர் ஒலிக்காகவே ஒரு கீற்றணியைச் (diffraction grating) செய்தார். அதைக்

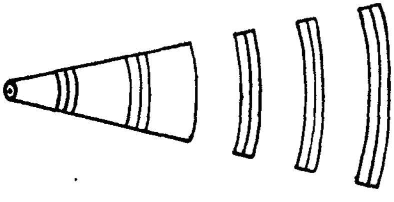
கொண்டு மின்பொறி ஒலி (sound of electric spark) போன்ற பல்கூட்டு ஒலிகளின் ஒலி மாலைகளை (sound spectra) அமைத்துப் பகுப்பாய்வு செய்துள்ளார்.

வட்டத் தட்டையும் ஒலியை ஆராயும் கருவியையும் வைத்துக் கொண்டு ஒலிகள் வரும் திசைகளைக் கண்டுபிடிக்கப் பயன்படுத்துகிறார்கள். வட்டத்தட்டின் பின்பக்கத்திலே அதன் அச்சிலே அதன் ஒலி ஆராயும் கருவியை வைத்துக்கொண்டு தட்டைப் பல திசைகளிலும் திருப்பி, எந்தத் திசையிலிருக்கும்பொழுது பெரும ஒலி ஏற்படுகின்றதோ அந்தத் திசையிலிருந்துதான் ஒலி வருகிற தென்பதைச் சுலபமாகக் காணலாம். எதிரியின் பீரங்கி எத்திசையிலிருந்து பயன்படுத்தப்படுகிறதென்பதையும், விமானங்கள் எத்திசையிலிருந்து வருகின்றனவென்பதையும் இம்முறையில் கண்டுபிடிக்கலாம்.

வாய் ஒலிபரப்பி (Megaphone): ஒலியை மின்சாரக் கருவி மூலமும் பெருக்கலாம்; வாய்க் கருவி மூலமும் பெருக்கலாம். இரண்டாவதாகக் குறிப்பிடப்பட்ட கருவியைக்கொண்டு ஒலியின் உரப்பைப் பெரிதாக்கலாமென்றாலும் இது பெரும்பாலும் ஒலியைப் பரப்புவதற்குத்தான் பயன்படுத்தப்படுகிறது. அதனால் தான் இதற்கு வாய் ஒலிபரப்பி என்று பெயர் வந்தது.

சுருங்கக் கூறின் வாய் ஒலிபரப்பி உலோகத்தாலான ஒரு குழாய். குழாயின் ஒரு முனை குறுகியும் மறுமுனை விரிந்தும் இருக்கும். இதன் குறுக்குவெட்டுச் சில சமயம் வட்டமாகவும், சில சமயம் செவ்வகமாகவும் இருக்கும்.

வட்டக் குறுக்குள்ள ஒலிபரப்பி உண்மையில் கூம்பு வடிவத்தில் இருக்கும். குறுகிய முனையில் வாயினால் ஒலியை எழுப்பவேண்டும். அகன்ற முனையின் ஆரம் ஓர் அலையின் நீளத்தைவிடப் பெரிதாயிருக்குமானால், எழுப்பப்படும் ஒலி, கூம்பின் அச்சு வழியே சென்று அகன்ற வாயை அடைகிறது. ஆனால், அகன்ற முனையின் ஆரம் சிறியதாயிருந்தால் ஒலி ஆற்றலின் பெரும்பாகம் எதிரொலித்து வீணாகிவிடுகிறது.

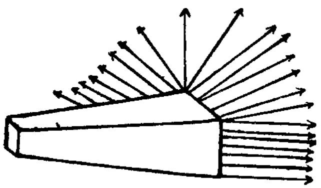


படம் 51

மிஞ்சிய பாகமே கூம்பின் வழியாக வெளியே வந்து, கோள அலைகளாகப் பரவுகிறது. பரவும்பொழுது ஒலி அலையின் நீளம் அதிகரித்துக் கொண்டே போகிறது. அகன்ற வாயின் ஆரம் பெரிதாக

இருந்தாலும் சிறிதாக இருந்தாலும் இக் கருவியில் ஒலிப்பெருக் கமும் ஏற்படுகிறது.

குறுக்குவெட்டு செவ்வக வடிவத்திலிருந்தால், ஒலிபரப்பி யின் இரண்டு செங்குத்துப் பக்கங்களும் இணையாக இருக்கும்; மற்ற இரு பக்கங்களும் சாய்வாக இருக்கும்; ஒரு முனை குறுகியும் மறுமுனை அகலமாயும் இருக்கும்; அகன்ற முனையின் படுக்கையான அகலங்கள் ஒலி அலை நீளத்தை விடச் சிறிதாக இருந்தால், ஒலி விளிம்புகளின் வழியே விலகிவிடு கிறது. ஆனால், அகன்ற முனையின் கிடை அகலங்கள் ஒலி அலை நீளத்தைவிடப் பெரிதாக இருந்தால் ஒலி கருவியின் அச்சு வழியே வெளியேறிப் பரவு கின்றது. ஆகையால், இந்தவித ஒலிபரப்பி ஒலியைப் பரப்புவ தில்லை; குறிப்பிட்ட திசையில் செலுத்துகிறது. ஒலித் திருப்பம் பெரும்பாலும் படுக்கையான தளத்திலேதான் நடைபெறும்.


படம் 52

ஒலிச் சிதறல் (Scattering of sound): ஒலி அலைகளின் பாதையி லுள்ள தடைகளின் அளவு ஒலி அலை நீளத்தைவிடச் சிறியதாக விருந்தால், அவை தடையின் விளிம்புகளிலே வளைந்து விலகி, தடைக்குப் பின்னால் ஒன்றுகூடி வழியில் தடையேயில்லாததுபோல் மேல் செல்லுகின்றன வென்பதைக் கண்டோம். இருந்தபோதி லும் கணக்கிட்டுப் பார்த்தால், ஒலியின் ஆற்றலில் ஒருபகுதி திசை மாறிச் சென்றுவிடுவது விளங்கும். தடையிலிருந்து எல்லாத் திசைகளிலும் ஆற்றல் பரவுகின்றது. பல திசைகளிலும் நிகழும் இவ்வாற்றல் பரவுதலுக்கு ஒலிச் சிதறல் (scattering of sound) என்று பெயர். தடையின் அளவு பெரிதாக இருந்தால் ஆற்றலில் பெரும்பகுதி சிதறிவிடுகிறது. சிதறிய ஆற்றல் எந்தத் திசையில் செல்கிறதென்பது தடையின் உருவத்தைப் பொறுத்திருக்கும். மேலும் தடையின் பின்பக்கம் அலைகள் ஒன்றுகூடுவதில்லை. அலை புகாத பகுதியின் பரப்பு அதிகமாகவேயிருக்கலாம். ராலே இந் நிகழ்ச்சியைப் பெரிதும் ஆராய்ந்து சில உண்மைகளைக் கண்டுள் ளார். அதாவது, சிதறிய அலைகளின் வீச்சு (1) தடையின் பருமனை யும், (2) மூல ஒலியின் அலை நீளத்தையும் பொறுத்திருக்கிற தென்றார். A, V, λ இவை மூன்றும், முறையே சிதறிய அலையின் வீச்சு, தடையின் பருமன், மூல ஒலியின் அலை நீளம் என்றால்,

$$A \propto \frac{V}{\lambda^2}$$

ஒலியின் செறிவு (I), வீச்சின் இருமடியின் (A^2) நேர் விகிதத்தி லிருப்பதால்,

$$I \propto \frac{V^2}{\lambda^4}$$

ஒலிச்சிதறலை டிண்டால் (Tyndall) அவர்கள் சோதனை மூலம் விளக்கியுள்ளார். ஒரு பக்கத்தில் ஒரு மணியையும், மறுபக்கத்தில் ஓர் உணர்வுநுட்ப அனலையும் அமைத்து, இரண்டுக்கும் இடையே பல குழாய்களில் மாறி மாறி கார்பன் டைஆக்ஸைடு, கார்பன் மானுக்ஸைடு வாயுக்களை நிரப்பி, மணியை ஒலித்தார். வாயுப் பொருள்கள் குழாய்களில் இருக்கும்பொழுது மணி ஒலி அனற் கொழுந்தில் எந்த மாறுதலையும் உண்டுபண்ணவில்லை. ஆனால், குழாய்களை எடுத்தவுடன், அனற்கொழுந்து மணி ஒலியால் தூண்டப்பட்டது புலனாயிற்று. முதற் பகுதியில் வாயுக்களின் வழியே ஒலி புகவில்லை; வாயுக்குழாய்கள் தடையாய் நின்று மணி யொலியின் பெரும் பகுதியைச் சிதறடித்துவிட்டன. ஆனால், இரண் டாம் பகுதியில் தடை நீக்கப்பட்டபடியால் ஒலி நேரடியாகப் புகுந்து அனற் கொழுந்தை இயக்க முடிந்தது.

ஒலி உட்கவர்தல் (Absorption of sound): இடைநிலைப் பொருளில் உட்கவரப்படல், அதன் எல்லையில் உட்கவரப்படல் என ஒலி உட்கவர்தலை இரண்டு பாகங்களாகப் பிரிக்கலாம். ஓர் அறையில் எழுப்பப்படும் ஒலி நெடுநேரம் நிலைப்பதில்லை. சுவர், கூரை, தரை எல்லாமே ஒலியைத் தொடர்ந்து எதிரொலிக் கின்றன; இருந்தும் ஒலி சீக்கிரம் அழிந்துவிடுகிறது. இதற்கு முக்கியக் காரணம் ஒலி உட்கவரப்படுவதுதான். ஒலி அலைகள் எல்லையில் படும்பொழுது, ஒரு பகுதி எதிரொலிக்கப்படுகிறது, ஒரு பகுதி எல்லைக்கப்பாலுள்ள பொருளுக்குள் புகுந்துவிடுகிறது, எஞ்சியுள்ளது ஆற்றல் மாற்றமடைகிறது. இப்பகுதியின் ஒலி ஆற்றல் தாறுமாறான மூலக்கூறுக் கலக்கமடைந்து ஆற்றலாக (energy of molecular agitation) மாறு கிறது; பிறகு அது வெப்பமாகத் தேய்கிறது. இதுபோல் ஒலி ஆற்றல் வெப்ப ஆற்றலாக மாறுவதைத்தான் உட்கவர்தல் என்கிறோம். ஒலி அலைகள் சிறிய துவாரங்களின் வழியே செல்லும் பொழுது, அங்குள்ள காற்றுத் துகள்கள் அங்குமிங்கும் அலைவுறு கின்றன. ஆனால், துவாரத்தின் எல்லைப் பகுதியிலுள்ள துகள்கள் திடப்பகுதிகளைப் பற்றிக்கொண்டு சலனமடையாமலிருந்து விடு கின்றன. இதன் விளைவு? எல்லைத் துகள்களுக்கு வழங்கப்பட்ட அலைவுகள் தடையுற்று (damped) வெப்பமாக மாற்றப்படுகின்றன. மேலும் இத்துகள்கள் பக்கத்துத் துகள்களை இழுக்கின்றன. அவை தம் பக்கத்திலிருக்கும் துகள்களை இழுக்கின்றன. இதுபோலவே

தொடர்ந்து ஒவ்வொரு துகளடுக்கும் பக்கத்திலுள்ள துகளடுக்குகளை இழுத்துக்கொண்டேயிருக்கின்றது. ஆகையால், துவாரத்திற்கப்பாலுள்ள காற்று இழுவையினால் சுணக்கப்பட்டு, அதன் விளைவாகச் சலனத்தின் இயக்க ஆற்றல் வெப்பமாக மாறுகிறது. ஒரு துவாரத்தாலேற்படும் உட்கவர்தல் அதிகமன்று. ஆனால், அதிக துவாரங்களிருந்தால், உட்கவர்தலாலேற்படும் ஆற்றலழிவு மிகக் கணிசமாகவிருக்கும்.

இடைநிலைப் பொருளில் தேங்கி நிற்கக்கூடிய தூசி, பனி முதலிய இதர பொருள்களும் ஒலியை உட்கவர்கின்றனவா வென்று இன்னும் தெளிவாக விளங்கவில்லை. இருந்தபோதிலும், இவ்விதர பொருள்களின் நிலைமம் (inertia) போதிய அளவு இருந்தால், அவை காற்றுத்துகள்களுடன் துடிக்காமல் பெருமளவில் இழுவையேற்படுத்தி, அவையே ஒலியை உட்கவராவிடினும், உட்கவர்தலுக்குப் பெரிதும் உதவி புரிகின்றன. ஒலி அலைகளின் நீளம் சாதாரணமாக விருந்தால் இவ் வுதவி அதிகம் தெரிவதில்லை. தூசி, பனி முதலிய துகள்கள் இடைநிலைப் பொருளுடன் கலந்திருந்தால், ஒலியின் உரப்புக் குறைவதில்லையென்றும், அதிக தூரம் ஒலி கேட்கிறதென்றும், டிண்டால் அவர்கள் காண்பித்துள்ளார். உட்கவர்தலில்லாமலிருப்பதற்குக் காரணம், இந்நிலையில் இடைநிலைப் பொருளின் வெப்பநிலை சீராக இருப்பது தான் என்றும் விளக்கியுள்ளார். ஆனால், ஒலியின் அலை நீளம் மிகச்சிறியதாக இருக்குமானால் தூசி, பனி போன்ற துகள்கள் அதிக உட்கவர்தலை உண்டாக்குகின்றன.

ஒலி உட்கவரப்படும் இயல்பு கட்டடக் கலையில் பெரிதும் பயன்படுத்தப்படுகிறது. இதைப் பிறகு காண்போம்.

டாப்ளர் விளைவு (Doppler Effect) : டாப்ளர் விளைவு என்பது சாதாரணமாக நாம் அன்றாடம் காணும் ஒரு காட்சி. இது ஒலியின் குணங்களில் ஒன்றாகாது. இருந்தபோதிலும், காற்று, வெப்பநிலை இவற்றால் ஒலியின் வேகத்தில் மாறுதல் ஏற்படுகின்றது என்பதையெல்லாம் விளக்கிய பிறகு, டாப்ளர் விளைவை இங்கு விவரிப்பது மிகப்பொருத்தமாகும்.

நாம் புகைவண்டி நிலையத்தில் நிற்கும்பொழுது, நம்மை நோக்கி வரும் புகை வண்டியின் ஊதல் ஒலி அதிகரிப்பதையும், நம்மைவிட்டு விலகிப் புகைவண்டி செல்லும்போது ஒலி குறைவதையும் கவனித்திருக்கிறோம். இது போலவே ஒலியை எழுப்பும் பொருள் நிலையாக இருந்து, ஒலியைக் கேட்பவர் ஒலியை நோக்கி

நகரும்பொழுதும் ஒலியை விட்டு விலகிச் செல்லும்பொழுதும் ஒலியின் அளவு மாறுவதையும் கவனித்திருக்கிறோம். இந்த மாற்றம் ஒலியின் சுருதிக்கு (pitch) ஏற்படுகிறதா அல்லது ஒலியின் உரப்புக்கு (loudness) ஏற்படுகிறதா? ஒலியைக் கேட்பவர் ஒலி மூலத்தை நோக்கிச் செல்லும்பொழுது, அவர் காதில் படும் ஒலி அலைகளின் எண்ணிக்கை அதிகரிக்கிறது. ஆகையால், ஒலியின் அதிர்வெண் அதிகரிக்கிறது. அதுபோலவே ஒலி மூலத்தைவிட்டு விலகிச் செல்லும்பொழுது அவர் காதில் விழும் அலைகளின் எண்ணிக்கை குறைகிறது. ஆகையால் ஒலியின் அதிர்வெண் குறைவதுபோல் தோன்றுகிறது. காற்றின் சலனம்கூட இதே விதத் தோற்றத்தை விளைவிக்கிறது. ஒலி மூலத்தின் சலனத்தாலோ, கேட்பவரின் சலனத்தாலோ, காற்றின் சலனத்தாலோ அல்லது எல்லாவற்றின் சலனத்தினாலோ எழுப்பப்படும் ஒலியின் அதிர்வெண்ணில் மாறுதல் ஏற்படுவதுபோல் தோன்றுவதுதான் டாப்ளர் விளைவு எனப்படும்.

ஒலியின் அதிர்வெண்ணில் எந்தவிதமான மாறுதலும் ஏற்படுவதில்லை. மாறுதலேற்படுவது போன்ற தோற்றந்தான் உண்டாகிறது. இதற்குக் காரணம், ஒலிமூலம், கேட்பவர், இடைநிலைப் பொருளாகிய காற்று இவையெல்லாம் நகர்ந்துகொண்டிருப்பதுதான். மாறியது போன்று தோன்றும் அதிர்வெண்ணுக்கு ஒரு சமன்பாடு கண்டுபிடிக்கலாம். ஒலியின் உண்மையான வேகமும், அதிர்வெண்ணும் C-என்றும், N-என்றும் எடுத்துக் கொள்வோம். u, v, w இவை மூன்றும், ஒலிமூலம், கேட்பவர், காற்று இவற்றின் வேகமாக இருக்கட்டும். எல்லாமே ஒரே திசையில் நகருவதாகவும் வைத்துக்கொள்வோம்.

ஒலி மூலத்திற்கும் காற்றுக்குமுள்ள ஒப்பு வேகம் $= u-w$

ஆகவே, ஒலிக்கும் ஒலி மூலத்திற்குமுள்ள ஒப்பு வேகம் $= C-(u-w)$

ஒலியின் உண்மையான அதிர்வெண் $= N.$

$\therefore$ ஒலியின் தோற்றவியல் அலைநீளம் $\lambda' = \dfrac{\text{ஒப்பு வேகம்}}{\text{அதிர்வெண்}}$

$$\therefore \qquad \lambda' = \frac{C+w-u}{N} \qquad \text{......(1)}$$

கேட்பவருக்கும் காற்றுக்குமுள்ள ஒப்புவேகம் $= v-w$

ஒலிக்கும் கேட்பவருக்குமுள்ள ஒப்பு வேகம் $= C-(v-w)$

கேட்பவர் காதில் படும் தோற்றவியல் அதிர்வெண் $N' = \dfrac{C+w-v}{\lambda'}$

$$\therefore \quad N' = \frac{C+w-v}{C+w-u}N.$$

இதுதான் பொதுவான சமன்பாடு. இதிலிருந்து குறிப்பிட்ட ஒரு சூழ்நிலைக்கேற்றவாறு சமன்பாட்டை மாற்றி அமைத்துக் கொள்ளல் வேண்டும்.

நிலைமை 1: காற்று சலனமற்றிருக்கும்போது $w = O$.

அப்பொழுது, $N' = \frac{C-v}{C-u} N$.

நிலைமை 2: காற்று சலனமற்றிருக்கிறது. கேட்பவர் ஒலி மூலத்தை நோக்கி நெருங்கிக்கொண்டிருக்கிறார். அப்பொழுது $v = -v$.

ஆகையால், $N' = \frac{C+v}{C-u} N$.

இப்பொழுது தோற்றவியல் அதிர்வெண் உண்மையான அதிர்வெண்ணைவிடப் பெரிதாக இருக்கிறது.

நிலைமை 3: ஒலிமூலம் கேட்பவரிடமிருந்து விலகிச் சென்றால், $u = -v$. அப்பொழுது,

$$N' = \frac{C-v}{C+u} N.$$

இப்பொழுது தோற்றவியல் அதிர்வெண் உண்மையான அதிர்வெண்ணைக் காட்டிலும் சிறிதாக இருக்கிறது.

நிலைமை 4: ஒலிமூலம் அசையாமல் இருந்தால், $w = O$. அப்பொழுது,

$$N' = \frac{C-v}{C} N.$$

நிலைமை 5: ஒலிமூலம் அசையாதிருந்து, கேட்பவர் ஒலி மூலத்தை நெருங்கிச் சென்றால், $v = -v$.

அப்பொழுது, $N' = \frac{C+v}{C}$

நிலைமை 6: கேட்பவர் அசையாதிருந்தால் $v = O$.

அப்பொழுது $N' = \frac{C}{C-u} N$.

நிலைமை 7: கேட்பவர் அசையாதிருந்து, ஒலிமூலம் பின் விலகினால் $w = -w$.

அப்பொழுது $N' = \frac{C}{C+u} N$.

நிலைமை 8 : காற்று, ஒலி மூலம், கேட்பவர் ஒன்றுமே நகரா விட்டால், $u = v = w = 0$.

அப்பொழுது $N' = \frac{C}{C} N$

அல்லது $N' = N$.

டாப்ளர் விளைவு ஒலிக்கு மாத்திரம் உரியதன்று. எந்த விதமான மின்காந்தக் கதிர் வீச்சுக்கும் (Electromagnetic Radiation) இது உகந்ததாகும்.

உதாரணங்கள்

1. மணிக்கு 24 கி.மீ. வேகத்தில் செல்லும் ஒரு மிதி வண்டிக்காரர், மணிக்கு 8 கி.மீ. வீதம் எதிர்த்திசையில் செல்லும் ஒரு வண்டியைச் சந்திக்கிறார். வண்டியிலுள்ள மணியொன்று அடித்துக் கொண்டே போகிறது. வண்டியைத் தாண்டியவுடன் எவ்வளவு லாகிருதமிக் சதம் மணியோசையின் சுருதி தாழ்வதாகத் தோன்றும்? காற்றில் ஒலியின் வேகம் 332 மீ./செ.

மிதிவண்டியின் வேகம் $= \frac{20}{3}$ மீ./செ.

வண்டியின் வேகம் $= \frac{20}{9}$ மீ./செ.

வண்டியைத் தாண்டுமுன் :

$$N' = N\frac{C-v}{C-w}$$

$C = 332$ மீ./செ.

$w = \frac{20}{9}$ மீ./செ.

$v = -\frac{20}{3}$ மீ./செ.

$$N' = N\frac{\left(332 + \frac{20}{3}\right)}{\left(332 - \frac{20}{9}\right)}$$

$$= 1{\cdot}0940\ N.$$

வண்டியைத் தாண்டியபின் :

$$N'' = N\frac{C-v}{C-w}$$

$$u = -\frac{20}{9}$$

$$v = +\frac{20}{3}$$

$$N'' = N\frac{\left(332 - \frac{20}{3}\right)}{\left(332 + \frac{20}{9}\right)}$$

$$= \cdot 9173\, N.$$

வாகிருதமிக் சதம் = a.

$$a = k.\log\frac{1\cdot 094\, N}{\cdot 9173\, N}$$

$$= \frac{1200}{\log 2}\log\frac{1\cdot 094}{\cdot 9173}$$

$$= 520\cdot 5$$

2. 256 அதிர்வெண்ணுடன் துடிக்கும் ஓர் இசைக்கவட்டை எடுத்துக் கொண்டு ஒருவர் விநாடிக்கு 250 செ.மீ. வேகத்தில் ஒரு சுவரை நோக்கி நடக்கின்றார். மற்றொருவர் முதலவருக்குப் பின்னால் இயக்கக் கோட்டின் மேலே அசையாமல் நிற்கின்றார். இருவரும் ஒரு விநாடிக்கு எத்தனை விம்மல்களைக் கேட்பர்? ஒலியின் வேகம் 332 மீ./செ.

சுவர் எதிரொலிக்கும் சுருதி = N_1

$$N_1 = N\frac{C-v}{C-u}$$

$$C = 332$$

$$u = 250$$

$$N = 256$$

$$v = 0$$

$$N_1 = 256.\frac{33200-0}{33200-250}$$

$$= 256 \times \frac{33200}{32950}$$

$$= 257\cdot 8$$

முதலவர் கேட்கும் விம்மல்கள்.

நேரிடையாகக் கேட்கும் சுருதி = 256.

எதிரொலிக்கப்படும் சுருதி = 257·8

கேட்கும் விம்மல்கள் = 257·8 − 256

= 1·8

= 2.

இரண்டாமவர் கேட்கும் விம்மல்கள்.

நேரிடையாகக் கேட்கும் சுருதி = N_2

$$N_2 = N\frac{C-v}{C-u}$$

$$u = -250$$

$$v = 0$$

$$N_2 = N\frac{C-v}{C-w}$$

$$= 256 \times \frac{33200}{33200+250}$$

$$= 256 \times \frac{33200}{33450}$$

$$= 254{\cdot}1.$$

எதிரொலிக்கும் சுருதி = N'_2

$$N'_2 = N_1\frac{C-v}{C-w}$$

$$v = 0$$

$$u = 0$$

$$\therefore \quad N'_2 = N_1$$

$$= 257{\cdot}8$$

கேட்கும் விம்மல்கள் $= N'_2 - N_2$

$= 257{\cdot}8 - 254{\cdot}1$

$= 3{\cdot}7$

$= 4.$

3. அசையாமல் நிற்கும் ஒருவரை நோக்கி மணிக்கு 72 கி.மீ. வேகத்தில் ஒரு புகைவண்டி வந்துகொண்டிருக்கிறது. அதன் ஊதல் எழுப்பும் ஒலியின் சுருதி = 420. ஒலியின் வேகம் 350 மீ./செ. நிற்பவர் கேட்கும் ஒலியின் சுருதி என்னவாகத் தோன்றும்?

$$N' = N.\frac{C-v}{C-w}$$

$$N = 420$$

$$C = 350 \quad u = \frac{72000}{60 \times 60} = 20$$

$$u = 20$$

$$v = 0$$

$$N' = \frac{420 \times 350}{350-20}$$

$$= \frac{420 \times 350}{330}$$

$$= 445{\cdot}4.$$

கேள்விகள்

1. கோவில் மணியை பூமிக்குச் சமீபத்தில் கட்டாமல், உயரமான இடத்தில் கட்டுகிறார்கள். ஏன்?

2. குறிப்புடன் விளக்குக :

(a) காற்று வேகமாக வீசும்பொழுது காற்று வீசாத திக்கைவிட காற்று வீசும் திக்கில் ஒலி நன்றாகக் கேட்பதேன்?

(b) மாலை நேரங்களில், முக்கியமாக கடுமையான வெய்யிலுக்குப் பிறகு தரைமட்டத்தில் ஒலி ஏன் நன்றாகப் பரவுகிறது?

(c) பகல் நேரங்களைவிட இரவு நேரங்களில் ஒலி செம்மையாகக் கேட்பதேன்?

(d) வானிலே வறண்டிருக்கும் பொழுதைவிட பனி மூண்டிருக்கும்பொழுது ஒலி நன்றாகப் பரவுவது ஏன்?

3. ஒலியியலில் (1) ஒலி குறுக்கீடு, (2) விளிம்பு விலகல் இவற்றை விளக்கும் சோதனைகளை விவரிக்க. ஒளி விளிம்பு விலகல், ஒலி விளிம்பு விலகல்—இவற்றிற்குள்ள வேறுபாடுகளென்ன ?

4. பின்வருவனபற்றிக் குறிப்புகள் வரைக.

(a) டாப்ளர் விளைவு

(b) ஒலிபரப்பி

(c) மெல்லொலிக் கூடம்

(d) ஒலி எதிர் முழக்கம்

5. டாப்ளர் விளைவை விளக்கி, ஒலியின் உண்மையான அதிர்வெண்ணிற்கும், தோற்றவியல் அதிர்வெண்ணுக்குமிடையே யுள்ள சமன்பாட்டை நிரூபிக்கவும்.

6. குறிப்புடன் விளக்குக :

(a) எரியும் சுடர்விளக்கு அண்மையில் துப்பாக்கி வெடித்தால் நின்றுவிடுவது ஏன்?

(b) சமவெளியைவிடப் பள்ளத்தாக்கில் இடிமுழக்கம் வெகுநேரம் நீடிப்பதேன்?

(c) புகை வண்டி நெருங்கும்போது அதன் ஊதல் ஒலியின் சுருதி அதிகரிப்பதுபோல் தோன்றுவதெப்படி ?

7. மலைக் குன்றொன்றை நோக்கி 3 மீ./செ. வேகத்தில் புகை வண்டி ஓடுகிறது. ஊதலின் ஒலிச்சுருதி 512. எதிரொலிக்கும் ஒலியின் தோற்றவியல் அதிர்வெண் (a) வண்டியோட்டுபவருக்கு, (b) நிலையாக நிற்பவரொருவருக்கு எப்படித் தோன்றும்? ஒலியின் வேகம் 332 மீ./செ. (521·3 ; 516·6).

8. ஓர் ஊதல் விநாடிக்கு 200 ஒலி அலைகளைப் பரப்புகின்றது. (a) ஒலி கேட்பவரை நெருங்கினால், (b) ஒலி அவரை விட்டு விலகிச் சென்றால் (c) அவர் ஒலியை நெருங்கினால், (d) ஒலியை விட்டு விலகிச் சென்றால், அவர் காதில் விநாடிக்கு எத்தனை அலைகள் படும்? ($a = \infty$; $b = 100$; $C = 400$; $d = 0$.)

4. ஒலியியல் சோதனை முறைகள்

ஒலி வேகம், அதிர்வெண், ஒலிவீச்சு, ஒலி கேட்பதற்குரிய சுருதி வரம்புகள் முதலியவற்றைக் கண்டுபிடிக்கும் சோதனைகள் இந்த அத்தியாயத்தில் விவரிக்கப்படும். முன்பே சில சோதனைகள் அந்தந்த இடங்களில் விளக்கப்பட்டுள்ளன. உதாரணமாக, காற்றில் ஒலி வேகத்தைக் கண்டுபிடிக்க ஒத்திசைத் தம்பம், குன்ட் குழாய் முதலிய சோதனைகள், இசைக்கவடுகளின் அதிர் வெண்களைக் காண சோனாமீட்டர், ஹெல்ம்ஹோல்ட்ஸ் ஒத்திசைவி முதலிய சோதனைகள் இவையெல்லாம் முன்னரே விவரிக்கப்பட்டவை. இருந்தபோதிலும், இந்த அத்தியாயத்தில் பண்டைய சோதனைகளும், மிக நுட்பமான சோதனைகளும் வர்ணிக்கப்படும்.

ஒலி வேகம்

(a) திடப்பொருள்களில் ஒலி வேகங்கள் : காற்றில் ஒலி பரவும் வேகம் தெரிந்து, குன்ட் குழாய்ச் சோதனைகளில், உலோகக் கோல் களைப் பயன்படுத்தி அவற்றில் ஒலியின் வேகங்களைக் கண்டு பிடிக்கும் விதத்தை முன்னமேயே விளக்கினோம். வெர்த்தீம் (Wertheim) என்பவர் இதே முறையைப் பயன்படுத்தி உலோகக் கோல்களை மையத்தில் இறுகப்பற்றி அவற்றில் ஒலிவேகங்களைக் கணக்கிட்டார். குழாயில் எழுப்பப்பட்ட ஒலியின் அதிர்வெண் ணைக்(n)காண வட்டச் சங்கைப் (siren) பயன்படுத்தினார். கோலின் நீளம் l ஆனால், ஒலியின் வேகம் $2ln$ என்றாகும். அடுத்த பக்கத்தில் கொடுக்கப்பட்டுள்ள அட்டவணையில் வெர்த்தீம் கண்ட ஒலி வேகங்களும், உலோகங்களின் மீட்சியியல் குணகங்களைப் பயன் படுத்திக் கண்ட ஒலிவேகங்களும் ஒப்பிடப்பட்டுள்ளன. ஒலிவேகங் கள் விநாடிக்கு எத்தனை மீட்டர் என்று கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

நெ.	திடப்பொருளின் பெயர்	கண்டுபிடிக்கப்பட்ட ஒலி வேகம்	கணக்கிடப்பட்ட ஒலி வேகம்
1	ஈயம் (இழுக்கப்பட்டது)	1407	1251
2	தங்கம் (இழுக்கப்பட்டது)	2123	2065
3	வெள்ளி (இழுக்கப்பட்டது)	2663	2624
4	துத்தநாகம் (இழுக்கப்பட்டது)	3639	3478
5	செம்பு (இழுக்கப்பட்டது)	3691	3678
6	பிளாட்டினம் (கம்பி)	2799	2789
7	இரும்பு (இழுக்கப்பட்டது)	4995	5113
8	வார்ப்பிரும்பு	4995	4958
9	எஃகு (கம்பி)	4995	4899

மெழுகு போன்ற மெதுவான திடப்பொருள்களில் ஒலி வேகங்களை ஸ்டிஃபான் என்பவர் கண்டுபிடித்தார். குன்ட் குழாய்ச் சோதனையில் உலோகக் கோல்களுடன், மெழுகுக் கோல்களை இணைத்து, உலோகக் கோல்களை இழுத்து, மெழுகுக் கோல்களில் ஒலி எழுப்பப்பட்டது. மெழுகில் ஒலியின் வேகம் 880 மீ./செ. என்று காணப்பட்டது. மேலும் ஒவ்வொரு டிகிரி சென்டிகிரேட் வெப்பநிலை குறைவுக்கும், இவ் வேகம் விநாடிக்கு 40 மீட்டர் வீதம் குறைவதாகக் காணப்பட்டது.

பயட் (Biot) என்பவர் புதியதொரு முறையில் இரும்பில் ஒலியின் வேகத்தைக் கண்டுபிடித்தார். ஒரு நீண்ட இரும்புக் குழாயைப் படுக்கையாக அமைத்து அதன் ஒரு முனையில் ஒரு மணியைப் பொருத்தினார். மணியை அடித்து எழுப்பப்பட்ட ஒலி குழாயின் வழியாகவும், குழாய்ச் சுவர்களின் வழியாகவும் சென்று மறு முனையை அடைந்தது. இரண்டு வழிகளாலும் வந்த இரண்டு ஒலிகளையும், தனித்தனியாகவும் தெளிவாகவும் கேட்க முடிந்தது. இரண்டு ஒலிகளுக்குமிடையேயுள்ள இடைவெளி நேரத்தைக் (t) கண்டுபிடித்தார். L, C_a, C_1, t_1, t_2 இவை முறையே குழாயின்

நீளம், காற்றில் ஒலி வேகம், இரும்பில் ஒலி வேகம், குழாய் வழியே ஒலி வரும் நேரம், இரும்புச் சுவர்வழியே ஒலி வரும் நேரம் என்றால்,

$$t_1 = \frac{L}{C_a}$$

$$t_2 = \frac{L}{C_1}$$

$$(t_1 - t_2) = L\left(\frac{1}{C_a} - \frac{1}{C_1}\right)$$

$$\therefore \quad t = (t_1 - t_2)$$

$$= L\left(\frac{1}{C_a} - \frac{1}{C_1}\right)$$

அல்லது $C_1 = \dfrac{L \cdot C_a}{(L - C_a t)}$.

பயட் செய்த சோதனையில் $L = 951{\cdot}25$ மீட்டர், $t = 2{\cdot}61$ விநாடிகள், $C_a = 330{\cdot}09$ மீட்டர்கள். இவற்றினின்றும் இரும்பில் ஒலியின் வேகம் சுமார் 3500 மீ./செ. என்று கண்டார்.

(b) திரவப்பொருள்களில் ஒலி வேகங்கள்: ஜெனிவா ஏரியில் சோதனைகள் செய்து 1826 ஆம் ஆண்டில் கொல்லோடன் (Collodan), ஸ்ட்ரும் (Strum) என்பவர்கள் நீரில் ஒலியின் வேகத்தை அளந்தார்கள். ஏரியில் ஓர் இடத்தில் ஒரு மணியையும், வெகு தூரத்திலுள்ள மற்றோரிடத்தில் கால் விநாடி அளவு அளக்கக்கூடிய ஒரு கடிகாரத்தையும் நீரில் அமுத்தி அமைத்தனர். புதியதொரு சுத்தியினால், மணியை அடித்து ஒலியையும், அதே சமயத்தில் சிறு வெடிமருந்தைக் கொளுத்தி ஒளியையும் உண்டாக்கினார்கள். ஒளியும், ஒலியும் வெவ்வேறு நேரங்களில் கடிகாரத்தை அடைந்தன. இவ்விரண்டு நேரங்களுக்குமிடையேயுள்ள இடைவெளிக் காலத்தையும், மணிக்கும் கடிகாரத்திற்குமிடையேயுள்ள தூரத்தையும் நுட்பமாக அளந்து, 8° செ. வெப்ப நிலையில் நீரில் ஒலியின் வேகம் விநாடிக்கு 1435 மீட்டர்கள் என்று அளவிட்டனர். இந்த வேகம் முன்னரே காப் (Kopp) என்பவரால் கணக்கிடப்பட்ட, விநாடிக்கு 1437 மீட்டர்கள் என்ற வேகத்திற்கு மிகப் பொருத்தமாக இருக்கிறதென்பது கவனிக்கத்தக்கது.

திரெல்பால், அடியார் (Threlfall and Adiar) என்பவர்கள் 1889ஆம் ஆண்டில் போர்ட் ஜாக்ஸன் என்னும் துறைமுகத்தருகில் நீருக்குள் வெடிப்பொலியெழுப்பிப் பல சோதனைகள் செய்தனர்

ஒலியெழுப்பும் கணத்தையும் எல்லையை யெய்தும் கணத்தையும் ஒரு கால வரைவி அல்லது நுண்மணிப்பொறியினல் (chronograph) அளந்து ஒலியின் வேகத்தைக் கணக்கிட்டனர். அவர்கள் கண்ட விடை விநாடிக்கு ஒலி 1500 மீட்டர் வீதம் நீரில் பரவுகிறதென்பது, ஆனல், ஒலி வலிவுள்ளதாக இருந்தால் (intensity), நீரில் இன்னும் அதிக வேகமாகச் செல்லுமென்று முடிவாகக் கூறினர்கள்; இதன் படி விநாடிக்கு 2013 மீட்டர்கூட செல்லக்கூடிய ஒலி யுள்ளதை நிலநாட்டினர்.

வெர்தீன் என்பவர் 1847ஆம் ஆண்டில் டியூலாங் (Dulong) என்பவரின் வழியைப்பின் பற்றி ஆர்கன் குழாயை (organ pipe) உபயோகித்து திரவப் பொருள்களில் ஒலியின் வேகத்தை அளவிட்டார். ஆர்கன் குழாயை ஒத்திசைத் தம்பமாகப் பயன் படுத்தி அதைத் திரவப் பொருள்களால் நிரப்பி ஒவ்வொரு திரவத்தின் அலை நீளத்தையும் அளந்தறிந்தார். ஒலியின் அதிர் வெண்ணை வட்டச் சங்கு மூலம் அளந்தார். பல திரவப் பொருள் களிலும் அவர் கண்ட ஒலி வேகங்கள் கீழே குறிப்பிடப்பட்டுள்ளன.

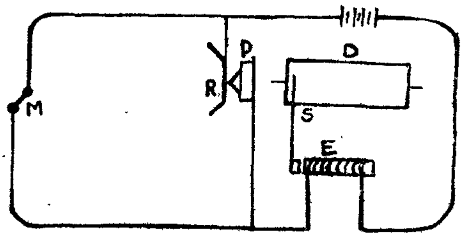
எ.	திரவத்தின் பெயர்	வெப்ப நிலை 0° செ.	கண்டு பிடித்த ஒலி வேகம்	கணக் கிட்ட ஒலி வேகம்
1	கடல்நீர்	20	1453	1404
2	பாதரஸம்	25	1469	1468
3	உப்புநீர் (கரைசல்)	13	1561	1497
4	சோடியம் கார்பனேட் (கரைசல்)	22	1594	1496
5	ஆல்கஹால் (பொது)	20	1286	—
6	ஆல்கஹால் (தனி)	23	1160	1186
7	ஈதர்	0	1159	1284
8	க்ளோரோஃபாம்	5	1066	1289

மீப்பாகியல் (highly viscous) திரவங்களில் வித்தியாசம் அதிகமுள்ளதாகக் காணப்பட்டது. ஒலி வேகத்தின் மதிப்பு திரவத்தின் பாகுநிலையையும் (viscosity), அது எடுத்துக்கொள்ளப் பட்ட ஆர்கன் குழாயின் பருமனையும் பொறுத்திருக்குமென்று ஹெல்ம்ஹோல்ட்ஸ் கணக்கிட்டுள்ளார்.

(c) காற்றில் ஒலி வேகம்: வறண்ட காற்றில் ஒலியின் வேகத்தைக் கண்டுபிடிக்க முதன்முதல் 1738ஆம் ஆண்டில் பாரிஸ் கலைக் குழு (Paris Academy) சோதனைகள் செய்ததாகத் தெரிகிறது. 18 மைல்களுக்கப்பாலுள்ள இரண்டு வானிலைக் கூடங்களைத் தேர்ந்தெடுத்து, ஒன்றிலிருந்து ஒரு பீரங்கியை இரவு நேரத்தில் வெடித்து அது எழுப்பிய திடீரொளியையும் ஒலியையும் மற்றொன்றிலிருந்து கவனித்தனர். ஒளியைப் பார்ப்பதற்கும், ஒலியைக் கேட்பதற்குமிடையேயுள்ள நேரத்தைக் கண்டுபிடித்து ஒலி வேகத்தைக் கணக்கிட்டனர். வறண்ட காற்றில் ஒலியின் வேகம் 332 மீ./வி. என்று அளக்கப்பட்டது; ஆனால், வெப்பநிலை ஏற ஏற ஒலி வேகமும் அதிகரித்தாக வேண்டுமென்று நிரூபித்தார்கள். இதன் பிறகு கிட்டத்தட்ட அதே கொள்கைகளைக் கையாண்டு ஒலி வேகத்தைக் கண்டுபிடிக்கப் பல சோதனைகள் நடத்தப் பட்டன. மிர்பாக் (Myrback) 1823ஆம் ஆண்டிலும், பிரவெய்ஸும் (Bravais), மார்ட்டின்ஸும் (Martins) 1844ஆம் ஆண்டிலும் சோதனைகள் நடத்தி 0° செ.-ல் ஒலியின் வேகம் விநாடிக்கு 332 மீட்டர்கள் என்று கண்டனர். பாரி (Parry) என்பவர் ஆர்ட்டிக் மண்டலத்தில் (Artic Region), கீழ் வெப்ப நிலைகளில் (low temperatures) சோதனைகள் நடத்தினார். ஸ்டோன் (Stone) என்பவர் 1881ஆம் ஆண்டில் மின் காலவரைவி அல்லது மின் நுண் மணிப்பொறியைப் (Electrical Chronograph) பயன் படுத்தி நேர இடைவெளியைக் கண்டுபிடித்தார். 1864ஆம் ஆண்டில் ரேய்னல்ட் (Regnault) என்பவர் ஒலியின் வலிமை அதிகமாக இருக்கும்பொழுது, செறிவு அதிகரிக்க அதிகரிக்க ஒலி வேகமும் அதிகரிப்பதாகக் காண்பித்தார். பறக்கும் வெடிகுண்டு களைப் புகைப்படமெடுத்து இது உண்மையாகத்தானிருக்க வேண்டுமென்று ஸி. வி. பாய் (C. V. Boys) உறுதிப்படுத்தினர்.

ரேய்னல்ட் முறை (Regnault's Method): D என்பது லேசாகப் புகையிடப்பட்ட ஒரு சுழல் வட்டுருளை (drum). மணிப்பொறி யொன்றினால் அது சீராகச் சுழற்றப்படுகிறது. S என்னும் எழுத் தாணி அதில் ஒரு கோடு இடுகிறது. எழுத்தாணி E என்னும் மின் காந்தத்துடன் இணைக்கப்பட்டுள்ளது. மின்காந்தத்தின் சுருள், ஒரு மின்கலம், ஒரு மெல்லிய ஜவ்வு (M), ஒரு சாவி முதலிய வற்றுடன் தொடராகச் சேர்க்கப்பட்டுள்ளது. R என்பது M -லிருந்து வெகு தூரத்திலுள்ள ஒரு கொம்பு (horn). இந்தக் கொம்பு சற்றுப் பின் நகர்ந்தால் P-என்னும் பிளாட்டினம் புள்ளி யைத் தொடும். அப்பொழுதும் மின்சுற்றில் (circuit) தொடர் பேற்படும். M என்னும் ஜவ்வை ஒரு துப்பாக்கியால் சுட்டால்,

மின் தொடர்பு அறுந்துவிடும். மின்காந்தம் நீக்கம்பெற்று, எழுத்தாணி உருளையில் முதலில் வரைந்த கோட்டிற்கு இணையாக



படம் 53

இரண்டாவது கோடு ஒன்றை வரைகிறது.

துப்பாக்கிச் சூட்டால் எழுப்பப்படும் ஒலி M-லிருந்து R-க்குச் சென்று கொம்பை இடிக்கிறது. கொம்பு பின் நகர்ந்து, P ஐத் தொட்டு, மின்காந்தத்தை மீண்டும் உண்டுபண்ணி, எழுத்தாணியை இழுக்கிறது. இப்பொழுதும் உருளையில் மூன்றாவது இணைகோடொன்று வரையப்படுகிறது. இரண்டாவது கோடும் மூன்றாவது கோடும் வரையப்படும் இடைவெளி நேரத்தில் ஒலி MR என்ற தூரம் பரவுகிறது. உருளையில் இரண்டாவது கோட்டிற்கும் மூன்றாவது கோட்டிற்கும் உள்ள தூரத்தை அளந்து உருளையின் பரிதியையும், சுழல் வேகத்தையும் அறிந்தால், MR என்ற தூரத்தை ஒலி கடக்கும் நேரத்தைக் கணக்கிட்டுவிடலாம். இவற்றினின்றும் ஒலி வேகத்தையும் கண்டுபிடித்துவிடலாம். இரண்டாவது, மூன்றாவது இணை கோடுகளுக்கிடையேயுள்ள தூரம் l என்றும், உருளையின் ஆரம், சுழல் வேகம் முதலியன r, n என்றும் கொண்டால்,

$$C = \frac{2\pi r n x}{l}$$

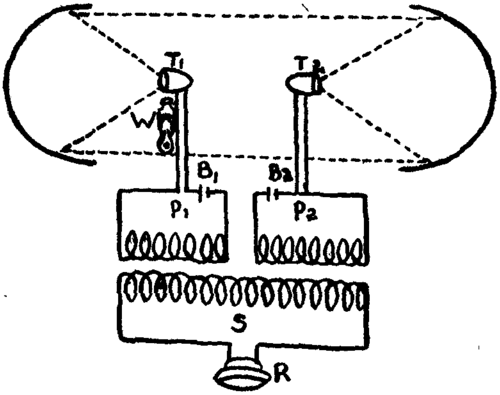
x என்பது M-க்கும் R-க்கும் இடையே உள்ள தூரம். காற்றின் வேகத்திற்கும், ஈரப்பதத்திற்கும் திருத்தம் செய்து, ஒலியின் வேகம் விநாடிக்கு 332·3 மீட்டர் என்று ரேய்னல்ட் கண்டுபிடித்தார். காற்றின் அழுத்த மாறுபாட்டினால் ஒலியின் வேகத்தில் எந்த மாற்றமும் ஏற்படுவதில்லையென்றும் ரேய்னல்ட் கண்டார்.

ஹெப் தொலைபேசி முறை (Hebb Telephone Method): முதன் முதலில் காஹல் (Kahl) என்பவரால் கையாளப்பட்ட ஒன்றிப்பு முறையை அனுசரித்து ஹெப் ஒலியின் வேகத்தைக் கண்டுபிடித்தார். மெட்ரோனோம் என்னும் ஒரு மணிக் கருவியை

சுவருக்கெதிரே வைத்து முறையாக, குறிப்பிட்ட கால இடைவெளிகளில் ஒலியெழுப்பப்பட்டது. எழுப்பப்பட்ட ஒலி நேராக ஒரு முறையும், சுவரில் எதிரொலித்து ஒரு முறையும் கேட்டது. மெட்ரோனோம் மெதுவாகச் சுவரிலிருந்து அகற்றப்பட்டபொழுது இரண்டு ஒலிகளுக்கிடையேயுள்ள நேரம் குறைந்து வந்தது. ஒரு கட்டத்தில் இரண்டு ஒலிகளும் ஒரே சமயத்தில் கேட்டன. அதாவது, ஒலியும் எதிரொலியும் ஒன்றிவிட்டன. இச் சமயத்தில் மெட்ரோனோம் எழுப்பும் இரண்டு ஒலிகளுக்கிடையேயுள்ள காலமும், ஓர் ஒலி மெட்ரோனோமிலிருந்து கிளம்பி, சுவரில் எதிரொலித்துத் திரும்பவும் மெட்ரோனோமுக்கு வர ஆகும் காலமும் சமம். இரண்டு ஒலிகளுக்குமிடையேயுள்ள நேரம் t என்றும், மெட்ரோனோமுக்கும் சுவருக்குமிடையேயுள்ள தூரம் d-என்றும் வைத்துக் கொண்டால், ஒலியின் வேகம்,

$$C = \frac{2d}{t}.$$

இந்த முறையைத்தான் ஹெப் 1904 ஆம் ஆண்டு, திருத்தியமைத்து ஒலியின் வேகத்தைக் கணக்கிட்டார். பாரிஸ் சாந்திஞல்



படம் 54

செய்யப்பட்ட இரண்டு பரவளைய ஆடிகள் (parabolic mirrors) ஒன்றையொன்று பார்த்துக் கொண்டு 120 அடி தூரத்தில் பொருத்தப்பட வேண்டும். ஒவ்வொன்றின் துளையும் (aperture), குவியத் தூரமும் முறையே 5 அடி, 15 அங்குலமாகும். ஒவ்வொன்றின் குவியத்திலும் ஒரு மைக்ரோஃபோன் அமர்த்தப்பட்டுள்ளது.

ஒரு தூண்டு மின் சுருளும் வேண்டும். இத் தூண்டு மின் சுருளுக்கு (induction coil), இரண்டு முதன்மைச் சுருள்களும் (primaries), ஒரு துணைச் சுருளும் உண்டு. ஒவ்வொரு மைக்ரோஃபோனும் ஒரு மின்கலம், ஒரு முதன்மைச் சுருள் இவற்றுடன் தொடராகச் சேர்க்கப்பட்டுள்ளது. தூண்டு மின்சுருளின் துணைச் சுருளுடன் ஒரு தொலைபேசி ஏற்பி (telephone receiver) இணைக்கப்பட்டுள்ளது. ஓர் ஆடியின் குவியத்திற்கருகில் ஓர் ஊதலும் வைக்கப்பட்டுள்ளது. இவ்வூதலைத் தொடர்ந்து சீராக ஊதினால் மாறாத அதிர்வெண்ணுடைய ஒலியை எழுப்பமுடியும்.

ஊதலை இயக்கி ஒலியை எழுப்பும்பொழுது, அவ்வொலி தன் பக்கத்திலுள்ள மைக்ரோஃபோனை இயக்கி மின்னாற்றலாக மாறி அத்துடன் இணைக்கப்பட்டுள்ள முதன்மைச் சுருளில் மின்னோட்டம் ஓடுகின்றது. அதே சமயத்தில் ஒலி பரவி ஓர் ஆடியில் பட்டு எதிரொலித்து மறு ஆடிக்குச் சென்று அங்கும் எதிரொலித்து அதன் குவியத்தை அடைகின்றது. அவ்விடத்திலுள்ள இரண்டாவது மைக்ரோஃபோன் இயக்கப்பட்டு ஒலி மின்சாரமாக மாறி அது இரண்டாவது முதன்மைச் சுருளில் (மின்னோட்டம்) ஓடுகிறது. இரண்டு முதன்மைச் சுருள்களிலும் ஓடும் மின்சாரங்களின் வெக்டார் கூட்டுத் தொகை (vector sum) தொலைபேசி ஏற்பியில் பதிவாகின்றது. ஏற்பியில் ஒலி கேட்கும். இப்பொழுது இரண்டாவது பரவளைய ஆடியை மெதுவாக நகர்த்த வேண்டும். ஒலியின் செறிவு மாறி மாறிப் பெருமமாகவும் சிறுமமாகவும் டெலிஃபோன் ஏற்பியில் கேட்கிறது. ஏனெனில், ஆடிகள் விலகும் பொழுது இரண்டு முதன்மைச் சுருள்களுடைய விளைவுகளின் துடிப்புநிலை வேறுபாடு மாறுதலடைந்து, ஒலி மாறி மாறி வலியூட்டமும், வலி அழிவும் அடைகின்றது. வலிவுறும்பொழுது பெருமமும், வலி அழிவேற்படும்பொழுது சிறுமமும் கேட்கும். இதிலிருந்து ஒலியின் அலை நீளத்தை அளக்க முடியும். 101 சிறுமங்களுக்கிடையேயுள்ள தூரத்தை அளந்து அதை 50ஆல் வகுத்து அலைநீளத்தை ஹெப் நுண்மையாகக் கண்டுபிடித்தார். ஹெப் உபயோகித்த ஊதலின் ஒலியின் அதிர்வெண் = 2376. அதிர்வெண்ணையும் அலைநீளத்தையும் பெருக்கி ஒலியின் வேகத்தை ஒரு சதவீதத்திற்கருகாமையில் கணக்கிட்டார். அவர் கண்ட ஒலி வேகம் $331 \cdot 29 \pm 0 \cdot 04$ மீ./செ.

(d) இதர வாயுப்பொருள்களில் ஒலியின் வேகம்: ரேய்னால்டின் சோதனைகள் வெவ்வேறு வாயுப் பொருள்களில்

நடத்தப்பட்டன. அவர் கண்ட ஒலி வேகங்கள் கீழே தரப் பட்டுள்ளன. (மீ./செ.)

ெந.	வாயுவின் பெயர்	கண்ட வேகம்	கணக்கிட்ட வேகம்	வாயுவுக்கும் காற்றுக்குமுள்ள விகிதம்
1	காற்று	330·6		1·0
2	ஹைட்ரஜன்	1257·1	1256·0	3·8
3	கார்பன்டை ஆக்ஸைட்	264·8	289·6	0·8
4	நைட்ரிக் ஆக்ஸைட்	264·7	340·1	0·8
5	அமோனியா	406·0	458·0	1·2

(e) உயர் அதிர்வெண் ஒலிகளின் வேகம்: உயர் அதிர்வெண் ஒலிகளின் வேகத்தை, முக்கியமாக மேல் கேள்வித்திறன் எல்லைக் கப்பாற்பட்ட அதிர்வெண்களுடைய ஒலிகளின் வேகத்தை, அளக்க ராலே ஒரு முறையைக் குறிப்பிட்டார். ஒலியை உலோகத் தகட்டினாலாவது, கண்ணாடித் தகட்டினாலாவது எதிரொலிக்கச் செய்து நிலை அலைகளை அமைக்கவேண்டும். ஓர் உணர்வுச்சுடர் விளக்கை ஒலியுண்டாகுமிடத்திலிருந்து, எதிரொலிக்கும் தகடு வரை நகர்த்த வேண்டும். எதிர்க்கணுக்களிருக்குமிடங்களிலெல்லாம் சுடர் வேகமாகத் துடிக்கும்; கணுக்களிருக்குமிடங்களிலெல்லாம் அசையாமலிருக்கும். அடுத்தடுத்த கணுக்களுக்கிடையேயுள்ள தூரம் அரை அலை நீளமாகும். இதனின்றும் ஒலியின் அலை நீளத்தை அளந்து கொள்ளலாம். ஒலியின் அதிர்வெண் தெரிந்தால், வேகத்தைக் கணக்கிட்டுவிடலாம்.

ஆனால், ராலேயின் இச் சோதனைகளில் பெரும்பாலும் புள்ளொலிகளே (bird calls) உபயோகிக்கப்பட்டன. இவற்றின் அதிர்வெண்களை அறிய வகையில்லை. எனவே, புள்ளொலிகளின் அதிர்வெண்களைக் கண்டுபிடிக்கவே இச்சோதனைகள் உபயோகிக்கப்பட்டன. ஆனால், நாளடைவில் புள்ளொலிக்குப் பதிலாக அழுத்த-மின்-அலைவுகள் (Piezo-electric-oscillations) பயன்படுத்தப்பட்டன. இவற்றின் அதிர்வெண்களைச் சுலபமாக அளந்துவிடலாம். அலை நீளத்தையும் அதிர்வெண்ணையும் கொண்டு ஒலி வேகத்தைக் கணக்கிடலாம்.

காற்றில் ஒலியின் வேகம் அதன் அதிர்வெண்ணுக்குத் தக்க வாறு மாறுதலடைவதாகக் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. ஆனால், இம் மாறுதல்கள் மிக மிகக் குறைவானவை. கார்பன் டையாக்ஸைடு (carbon-dioxide) வாயுவில் மாத்திரம் அதிர்வெண் மாறும்போது ஒலி வேகமும் மாறும் விதம் விநோதமாகக் காணப்படுகிறது. 0° செ. வெப்ப நிலையிலிருக்கும்பொழுது கார்பன் டையாக்ஸை டின் ஒலி வேகம்—அதிர்வெண் 42000 வரையில்—258·52 மீ./செ. என்றும், வர வர அதிகரித்து அதிர்வெண் 200,000 இருக்கையில் 260·15 மீ./செ.-க்கு ஏறுகிறதென்றும், அதைவிட அதிகரித்தால் வாயுவுக்குள் ஒலி புக முடிவதில்லையென்றும் தெரிய வருகிறது. அதிக அதிர்வெண்ணுடைய ஒலி பரவும்பொழுது வேகமாக நடைபெறும் வெப்ப மாறா மாறுதல்களுக்குத் (adiabatic changes) தக்கவாறு ஊடகத்தால் (medium) ஒத்துப்போக முடியாதது தான் இவற்றிற்கெல்லாம் காரணமென்று கூறப்படுகிறது.

A. அதிர்வெண்கள்: சில ஒலிகள் நாம் நேரிடையாகக் கையாளக்கூடிய பொருள்கள் அலைவுறுவதாலெழலாம். உதாரணங்கள் இசைக்கவடு, துடிக்கும் கட்டை (vibrating bar) முதலியன. வேறு சில ஒலிகள் வெகு தூரத்திலிருந்து வரலாம் அல்லது நாம் கையாளக்கூடாதவகையில் அவையெழுப்பப் படலாம். உதாரணங்கள் எட்டத்திலிருந்து வரும் மணியோசை, இசைக்கருவிகளிலிருந்து எழும்பும் நாதம் முதலியன. முதல் வகையில் ஒலியெழுப்பும் பொருளின் அலைவுகளை நாம் நேரிடை யாகக் காண முடியும். இரண்டாவது வகை ஒலிகளை, அலைவுகளை நாம் நேரே காணக்கூடிய பொருள்களில் ஒலிகளுடன் ஒப் பிட்டுப் பார்க்கலாம். ஆகையால், அதிர்வெண்களைக் கண்டு பிடிக்கும் முறைகளை இவ்வாதாரத்தைக் கொண்டு இரண்டு வகுப்புகளாகப் பிரிப்போம்.

B. 1. அலைவு நுண்ணோக்கி (Vibration microscope): இக் கருவிக்கு வைப்ராஸ்கோப் (vibroscope) என்றும் ஒரு பெயர் உண்டு. ஓர் இசைக்கவடு செங்குத்தாக நிறுத்தப்பட்டிருக்கும். அதன் முன் ஒன்றின் மீது ஒரு கூட்டு நுண்ணோக்கியின் (compound miscroscope) பொருளருகுவில்லை (object-piece) பொருத்தப் பட்டிருக்கும். நுண்ணோக்கியின் கண்ணருகு வில்லை (eye-piece) தனியே வைக்கப்பட்டிருக்கும். இசைக்கவட்டுக்குச் செங்குத் தாகவும், நுண்ணோக்கியின் அச்சுக்குச் செங்குத்தாகவும் வேறு ஒரு பொருள் தனி ஒத்திசை இயக்கத்தில் ஈடுபட்டுள்ளது இதில் ஒரு மிக்க ஒளியுள்ள புள்ளியும் இருக்கிறது.

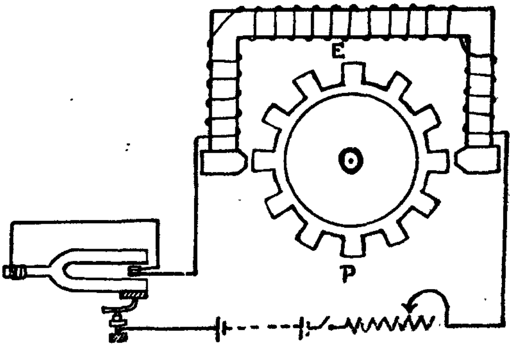
இப்பொழுது இரண்டு பொருள்கள் செங்குத்தான திசைகளில் துடிக்கின்றன. இவற்றின் அலைவுத் தகவு முழு எண் விகிதத்தில் (integral ratio) இருந்தால், விளைவு அதிர்வு ஒரு லிஸ்ஸாஜூஸ் படத்தை (Lissajou's figure) வரையும். பளிச் சென்ற புள்ளியை நுண்ணோக்கியின் வழியே கவனித்தால், இப்படம் நன்றாகத் தெரியும். வெவ்வேறு அதிர்வெண் விகிதங்களுக்குள்ள லிஸ்ஸாஜூஸ் படங்களுடன் இப் படத்தையொப்பிட்டு, இசைக் கவட்டின் அதிர்வெண்ணுக்கும், பளிச்சென்ற புள்ளியின் அதிர் வெண்ணுக்குமுள்ள விகிதத்தை யூகித்தறியலாம். பளிச்சென்ற புள்ளியின் அதிர்வெண் தெரியுமானால், இசைக்கவட்டின் அதிர் வெண்ணை அறிய முடியும்.

இரண்டு அதிரும் பொருள்களின் அலைவுத் தகவு எளியதாக இல்லாவிட்டால், பல்வேறு லிஸ்ஸாஜூஸ் படங்கள் ஒன்றன் பின் ஒன்றாகத் தோன்றுவதைக் காணலாம். இரண்டு பொருள் களுடைய அதிர்வெண்களின் மிக நெருக்கமான விகிதத்திற்கு எத்தனை தடவை அதிரவேண்டுமோ அதைவிட ஒரு தடவை அதிகமாக ஒரு பொருள் அதிரும் நேரத்தில் படங்களின் தோற்றம் ஒரு சுற்று வந்துவிடும். இவற்றிலிருந்தும் இசைக் கவட்டின் அதிர்வெண்ணை அளக்கமுடியும்.

வயலின் கம்பிகளின் அலைவுகளை ஆராய ஹெல்ம்ஹோல்ட்ஸ் இக் கருவியைப் பயன்படுத்தினார். நுண்ணோக்கியின் இசைக்கவடு மின்னோட்டத்தால் இயக்கப்பட்டது. வயலின் கம்பியில் ஒளிர் மிகு ஸ்டார்ச்சுத் துகள் ஒன்று பொருத்தப்பட்டிருந்தது. வயலின் கம்பியை மீட்டி இசைக்கவட்டையும் இயக்கி, லிஸ்ஸாஜூஸ் படங்களை அமைத்து அவற்றை ஆராய்ந்தார். கம்பிகளின் அலைவுகள் ஒத்திசையாக இல்லையென்றும் கண்டார். மேலும் அவையெழுப்பும் பல கூட்டு ஒலிகளின் அதிர்வு நேரங்களையும் ஆராய்ந்தறிந்தார்.

(2) ஃபோனிக் சக்கரம் (Phonic wheel): பளுவான மென் னிரும்பு பற்சக்கரம்தான் (P) ஃபோனிக் சக்கரம் என்பது. படத்திற் கண்டபடி அது ஆற்றல் மிக்க மின்காந்தத்தின் முனை களுக்கிடையே (poles) வைக்கப்பட்டுள்ளது. பற்சக்கரம் தன் தளத்திலேயே ஒரு கிடைமட்ட அச்சைச் சுற்றிச் சுழலும் தன்மை வாய்ந்தது. சக்கரத்தின் சுழலச்சும், காந்த முனைகளை இணைக்கும் கோடும் ஒன்றுக்கொன்று செங்குத்தாக இருக்கின்றன. மின் காந்தத்தின் முனைகள் நன்றாகச் செதுக்கப்பட்டிருக்கின்றன; அவற்றின் குறுக்களவும் சக்கரத்தின் பற்களும் ஒரே அளவாக உள்ளன.

ஒரு மின்னிசைக் கவை (electrically maintained tuning fork), மின்காந்தத்தின் சுருள், மின்கலம், ஒரு சாவி முதலியன தொடர்பாக இணைக்கப்பட்டுள்ளன. இசைக் கவையை இயக்கிப் பல் சக்கரத்தை மெதுவாகச் சுழற்ற வேண்டும். இசைக்கவையினிடம் மின் சுற்று மூடப்பட்டால், மின்காந்தம் இயக்கப்பட்டு அதன் ஒரு முனை தனக்கு மேலுள்ள பல்லைக் கீழே இழுக்கும்; மற்றொரு முனை



படம் 55

தனக்குக் கீழேயுள்ள பல்லை மேலே இழுக்கும். மின்சுற்று அறுக்கப்பட்டால் மின்காந்தம் இயங்காது. ஆனால், சக்கரத்தின் பற்கள் இழுக்கப்பட்ட வேகத்தால் தொடர்ந்து அதே திசைகளில் நகரும். மறுபடியும் மின்காந்தம் இயக்கப்பட்டவுடன் பற்கள் தொடர்ந்து அதே திசைகளில் மீண்டும் இழுக்கப்படும். இவ்வாறாகச் சிறிது நேரத்திற்கெல்லாம் சக்கரம் சீரான சுழற்சியில் ஈடுபடும்.

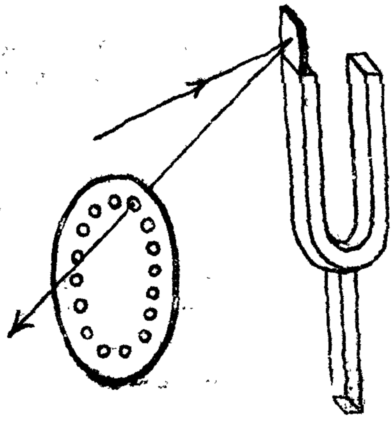
இசைக்கவட்டால் மின்சுற்று மூடப்படும்பொழுதும் அறுக்கப்படும்பொழுதும் மின்காந்தத்தில் முறையே காந்தமூட்டலும் (magnetisation) காந்தமிழத்தலும் (demagnetisation) நிகழ்கின்றன. ஆகையால், காந்தமூட்டலும் காந்தமிழத்தலும், அதனால் பற்சக்கரப் பற்கள் இழுக்கப்படுவதும் படாமலிருப்பதும் இசைக் கவையின் அதிர்வெண்ணைப் பொறுத்திருக்கிறது. குறைவான வேகத்துடன் சுழன்று கொண்டிருக்கும்பொழுது பற்சக்கரத்தின் வேகம் விநாடிக்கு N சுற்றுகள் என்றும், சக்கரத்திலுள்ள பற்கள் n என்றும் இருந்தால், இசைக்கவையின் அதிர்வெண் Nn என்றாகும்.

ஒவ்வொரு பல்லும் மின்காந்த முனையால் ஈர்க்கப்படும்பொழுது மேற்கூறியதுபோல் நடைபெறும். அடுத்தடுத்த பல்லையும் காந்தமுனை ஈர்க்கும்படி நேரலாம். அப்பொழுது பற்சக்கரத்தின் சுழல்வேகம் இரட்டிக்கும். பொதுவாக, சக்கரத்தின் வேகம் அதன் குறைந்த வேகத்தின் (N) முழு எண் மடக்கையாக விருக்கும்பொழுது (integral multiple), சக்கரம் சீராகச் சுழன்று கொண்டிருக்கும்.

சாதாரணமாக அதிக அதிர்வெண் உடைய இசைக் கவை களுடன் தான் ஃபோனிக் சக்கரம் செயல்படும். 1919ஆம் ஆண்டில் ஃபோர்டு (Ford) என்பவரும், உட் (Wood) என்பவரும் ஒரு ஃபோனிக் மோட்டாரை அமைத்தனர். இது கீழ் அதிர்வெண் ணுடைய இசைக்கவைகளுடனும் செயல்படும். இக் கருவியில் மின்காந்தத்தைப் பயன்படுத்திச் சுழற்றும் இரட்டைத் திருப்பு திறன் (torque) அதிகரிக்கப்பட்டுள்ளது.

B (3) ஸ்ட்ரோபாஸ்கோப் (Stroboscope) : இதன் முக்கிய பாகம் வட்டமாயுள்ள ஓர் உலோகத் தகடு (D). ஒரு கிடைமட்ட அச்சைச் சுற்றிச் செங்குத்தான தளத்திலேயே இதைச் சுற்றும்படி செய்யலாம். இதன் விளிம்போரமாகச் சமதூரங்களில் பல துவா ரங்களுள்ளன (n). அதிர்வெண் கண்டுபிடிக்கவேண்டிய இசைக் கவடு செங்குத்தாகத் தகட்டுக்குப்பின் நிறுத்தப்பட்டுள்ளது. ஒரு சிறிய சமதள ஆடி இசைக்கவையின் ஒரு முள்ளின்மீது ஒட்டப்பட்டுள்ளது. ஒளிக்கதிரொன்று ஆடியில் பட்டு எதி ரொளித்துச் சக்கரத்தின் துளைவழியாக வெளியாகிறது.

துவாரம், சமதள ஆடி, கண் மூன்றும் ஒரே கிடைமட்டத் திசையில் இருக்கும்பொழுது எதிரொளித்த ஒளி கண்ணில் படும். இப்பொழுது இசைக்கவையை இயக்கினால் ஒளி மாறி மாறி தெரிந்து மறையும் ஸ்ட்ரோ பாஸ்கோப் ஒரு விளையாட்டு மோட்டாரினால் சீராகச் சுற்றப்பட்டு, அதன் வேகமும் ஒரு மின் தடை மாற்றியினால் அதி கரிக்கப்படுகிறது. ஒரு கட்டத் தில், தொடர்ந்து ஒளி தெரி யும். பார்க்கும் திசையில் ஆடி வரும் ஒவ்வொரு முறையும், துவாரமும் அத் திசைக்கு வந்து ஒளி கண்ணில் விழும். பார்வை நீடிப்பினால் தொடர்ந்து ஒளி தெரிகிறது. இந் நிகழ்ச்சி நடைபெறச் சக்கரத்தின் குறைந்த வேகம் N என்றால் இசைக்கவையின் அதிர்வெண் $= Nn$.



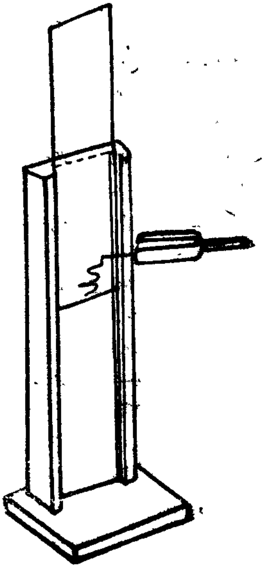
படம் 56

இரண்டாவது, மூன்றாவது துளைகள் ஒளியை அனுமதிக்கும் பொழுதும், ஒளி தொடர்ந்து பார்வையில் விழும். இப்பொழு தெல்லாம், சக்கரத்தின் சுழல் வேகம் இரண்டு மூன்று மடங்கு அதிகரிக்கிறது.

இம்முறையில் பார்வை நீடிப்பால் ஒளி தொடர்ந்து புலப்படுவதால், 25-க்குக் குறைவான அதிர்வெண்களை அளக்க முடியாது.

B (4) விழும் தட்டு (Falling plate): செங்குத்தான மரத் தாங்கியின் இரு விளிம்புகளிலும் இரண்டு வரிப் பள்ளங்கள் உள்ளன. இந்த இரு வரிப் பள்ளங்களின் வழியாகச் செவ்வக வடிவமுள்ள கண்ணாடித் தட்டு ஒன்று மேலும் கீழுமாக நகரக்கூடும்; ஒரு திருகை இயக்கிக் கண்ணாடித்தட்டைத் திடீரென கீழே விழச்செய்யலாம். சோதனையின் ஆரம்பத்தில் கண்ணாடித்தட்டு புகையிடப்பட்டு மரத்தாங்கியில் தூக்கி நிறுத்தப்பட்டுள்ளது. அதே தாங்கியிலோ வேறு தனித் தாங்கியிலோ, அதிர்வெண் கண்டுபிடிக்கப்பட வேண்டிய இசைக்கவை, சாய்வாகப் பொருத்தப்பட்டுள்ளது. இசைக்கவை கண்ணாடித் தகட்டின் முன்னால் குறுக்காகத் துடிக்கும். அதன் ஒரு முள்ளின் நுனியில் ஒரு முள் பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. இசைக்கவை துடிக்கும்பொழுது இந்த முள் புகையிட்ட கண்ணாடித் தகட்டின் மீது குறுக்கே கோடிடும்.

இசைக்கவையை இயக்கிவிட்டு, கண்ணாடித் தட்டைக் கீழே விழச்செய்தால், படம் 57-ல் கண்டுள்ளபடி அதில் ஒரு வரைகோடு இடப்படும். ஒரு முகட்டில் (crest) P_1 என்ற குறியும், S அலைகள் தாண்டி, ஒரு முகட்டில் (crest) Q_1 என்ற இரண்டாவது குறியும், அது போலவே இன்னும் S அலைகள் தாண்டி R_1 என்ற மூன்றாவது குறியும் இடப்பட்டுள்ளன. $P_1 Q_1$, $Q_1 R_1$ இவற்றின் நீளங்கள் l_1, l_2 இவற்றை அளக்க வேண்டும். இந்த தூரங்களை அளக்க இயங்கு நுண்ணோக்கியைப் பயன்படுத்தலாம். u_1, u_2, T இவை மூன்றும் $P_1 Q_1$ என்னும் இடங்களிலிருக்கும்போது தகட்டின் வேகங்கள், இசைக்கவையின் அதிர்வெண் என்றால்,



படம் 57

$$u_2 = u_1 + gt$$

t என்பது தகடு P_1-லிருந்து Q_1-க்குச் செல்ல ஆகும் நேரம். இந்த நேரத்தில் S அலைகள் வரையப்படுவதால் $t = ST$.

$$\therefore u_2 = u_1 + g(ST) \quad \ldots\ldots(1)$$

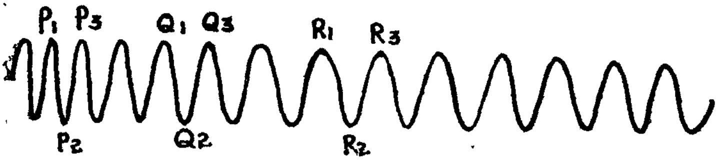
மேலும்,

$$l_1 = u_1 t + \tfrac{1}{2}gt^2$$

$$\therefore l_1 = u_1 (ST) + \tfrac{1}{2}gS^2T^2 \quad \ldots\ldots(2)$$

இதே நேரத்தில் அடுத்த S அலைகள் வரையப்படுவதால்

$$l_2 = u_2\,(ST) + \tfrac{1}{2}gS^2T^2$$
$$\therefore\ l_2 = ST\,(u_1 + gt) + \tfrac{1}{2}gS^2T^2$$
$$= u_1\,(ST) + g(ST)^2 + \tfrac{1}{2}gS^2T^2$$
$$= u_1\,(ST) + \tfrac{3}{2}gS^2T^2 \qquad ......(3)$$



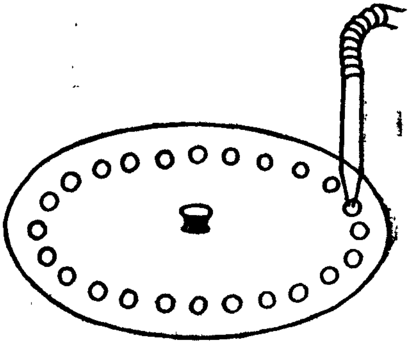
படம் 58

$$\therefore\ (l_2 - l_1) = gS^2T^2$$
$$\therefore\ T = \frac{1}{S}\sqrt{\frac{(l_2 - l_1)}{g}}$$
$$\therefore\ n = S\sqrt{\frac{g}{(l_2 - l_1)}}$$

C 1. சவார்ட் சக்கரம் (Savart's wheel) : தூரத்திலுள்ள ஒலிகளின் அதிர்வெண்களைக் கண்டுபிடிக்கவே பொதுவாக சவார்ட் சக்கரம் உபயோகிக்கப்படுகிறது. இது வட்டமானதோர் உலோகச் சக்கரம். இதன் விளிம்பில் சமதூரங்களில் கூர்மையான பற்கள் வெட்டப்பட்டுள்ளன. அதன் மையத்தின் வழியாகச் செல்லும் அச்சைச் சுழற்றி வட்டத்தையும் சுழற்றலாம். இவ்விரண்டிற்கிடையே ஒரு மெல்லிய அட்டையை நுழைத்து, சக்கரத்தைச் சுழற்றினால், அட்டை துடிக்க ஆரம்பிக்கும். ஒவ்வொரு பல்லும் அட்டையைத் தாண்டும்பொழுது, அட்டையும் ஒரு தடவை துடிக்கும். சக்கரம் ஒரு முழுச் சுற்றுச்சுற்றினால், சக்கரத்தில் எத்தனைப் பற்கள் இருக்கின்றனவோ, அத்தனை தடவை அட்டை துடிக்கும் (Nn). ஒரு விநாடிக்கு N தடவைகள் சுற்றினால், அட்டை ஒரு விநாடியில் Nn தடவைகள் துடிக்கும். இதுதான் அட்டை எழுப்பும் ஒலியின் அதிர்வெண். எந்த ஒலியின் அதிர்வெண்ணைக் கண்டுபிடிக்க வேண்டுமோ, அந்த ஒலியை எழுப்பி, அதைக் கவனமாகக் கேட்டுக்கொண்டு, அதே சமயத்தில் சவார்ட் சக்கரத்தைச் சுற்றி, அட்டையை அதன் பற்களுக்கிடையே பிடித்து, அட்டையெழுப்பும் ஒலியையும் கவனித்துக்கொண்டு, இரண்டு ஒலிகளின் சுருதிகளையும் ஒப்பிட வேண்டும். சவார்ட் சக்கரத்தின் சுழல் வேகத்தை ஏற்றியோ இறக்கியோ இரண்டு ஒலிகளின் சுருதிகளும் இசையும்வரை சோதனை நடத்த வேண்டும். இரண்டும் இணையும்

பொழுது சக்கரத்தின் சுழல் எண் n என்றால், ஒலியின் அதிர் வெண் = Nn. அட்டை யெழுப்பும் ஒலி வெறுக்கத்தக்க முரணோசையாக இருப்பதால், இரண்டு ஒலிகளையும் ஒப்பிடுதல் சிறிது கடினமாக இருக்கும்.

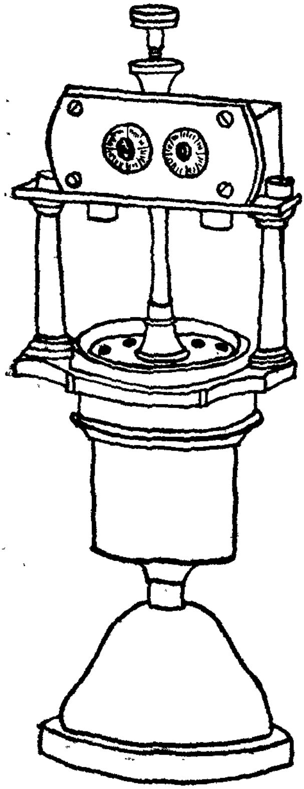
C (2a) தட்டுச் சங்கு (Siren) : சவார்ட் சக்கரத்தில் காணப்படும் குறைகள் தட்டுச் சங்கில் நீக்கப்பட்டுவிடுகின்றன. இதுவும் உலோகச் சக்கரம்தான். அதன் பரப்பில் பல பொது மைய வட்டங்கள் உள்ளன. ஒவ்வொரு வளையத்திலும் சம தூரத்தில் சிறு துவாரங்களுள்ளன. முதல் வளையத்தில் n_1 துவாரங்களும் இரண்டாவது வளையத்தில் n_2 துவாரங்களும் மூன்றாவது வளையத்தில் n_3 துவாரங்களும் உள்ளன. தகட்டின் மையம் வழியாகச் செல்லும் அச்சைச் சுற்றி அதைச் சுழற்றலாம். சிறிய கண்ணாடிக்குழாய் வழியாகத் துருத்தியிலிருந்து மெல்லிய காற்றை வீசலாம். இக்காற்று வீச்சை ஒரு துவாரத்திற்குமேல் பிடித்தால் அது துவாரத்தின் வழியே செல்லும். தகடு சுற்றும் பொழுது, காற்று மாறிமாறி துவாரங்களின் வழியாகச் சென்றும், துவாரங்களினிடையேயுள்ள இடைவெளியில் தடைபெற்றும், காற்றுத் துகள்களில் நெருக்கமும் தளர்த்தியும் உண்டாகின்றன. அப்பொழுது ஓர் ஒலி யெழும்புகிறது. தக்கதொரு வளையத்தைப் பொறுக்கிக்கொண்டு, தகட்டின் சுழல் வேகத்தையும் மாற்றி, எழும்பும் ஒலியையும், சோதனைக்கு வந்த ஒலியையும் ஒப்பிட்டு, அதிர்வெண்ணைக் கணக்கிடலாம். உதாரணமாக, தகட்டின் சுழல் வேகம் N என்றால், இரண்டாவது வளையத்திலுள்ள துவாரங்கள் சோதனைக்கு எடுத்துக் கொள்ளப்பட்டால், சோதனைக்கு வந்த ஒலியின் அதிர்வெண் Nn_2 என்பதாகும்.



படம் 59

C (2b) காக்னியார்ட் டீ லட்டூர் (Cagniard de La Tour): தட்டுச் சங்கையும் திருத்தி அமைத்தார் காக்னியார்ட் டீ லட்டூர். இக் கருவி கச்சிதமாகவும் நேர்த்தியாகவும் செய்யப்பட்டிருப்பதால் இதைப் பயன்படுத்துவது மிகவும் எளியதாகவிருக்கும். ஓர் உருளைக்குள் ஒரு கூடான வட்டுருளை (hollow drum) கவிழ்க்க

பட்டிருக்கிறது. அதன் மேல் பாகத்தில் பொது மைய வளையங்களில் துளைகள் உள்ளன. கீழிருந்து சாய்வாக உருளைக்குள் காற்றை வீச அமைப்பிருக்கிறது. மேலும், கருவியின் அடிப்பாகத்தில் பல வால்வுகள் பொருத்தப்பட்டிருக்கின்றன. ஒவ்வொரு வால்வும் ஒவ்வொரு வளையத்துடனும் இணைக்கப்பட்டிருக்கும். ஒரு வால்வைத் திறந்து அதனுடைய வளையத்தின் துவாரங்களை இயக்கலாம். வட்டுருளையின் சுழல் வேகத்தைத் தானே இயங்கும் எந்திரப் பொறிகளி னுதவியால் (automatic mechanical counters) குறித்துக் கொள்ள முடியும். காற்றை உள்ளே வீசினுல் அது வட்டுருளையையும் சுழற்றும்; தேர்ந்தெடுக்கப்பட்ட துளைகளின் வழியேயும் பாயும். வேகத்தையும் துவாரங்களையும் சரி செய்தால் கண்டுபிடிக்க வேண்டிய சுருதிக்கு இணைந்த ஒலியை எழுப்பலாம்.

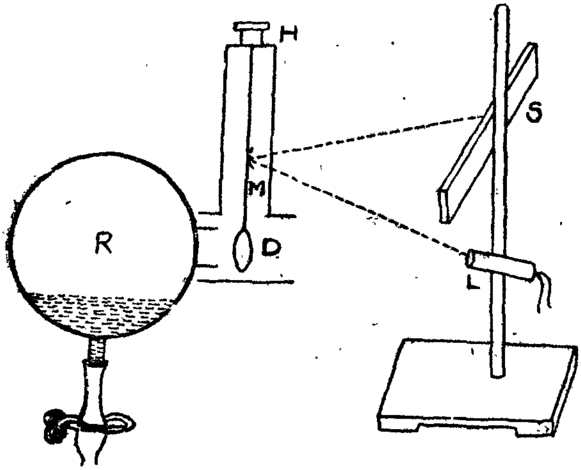


படம் 60

IV ஒலிச்செறிவு : ஒலியின் செறிவை அளக்க ராலேயின் வட்டு தான் பொதுவாகப் பயன்படுத்தப்படுவது. D என்பது மெல்லிய உலோகத்தகடாலான ஒரு வட்டு. அது H என்னும் முறுக்கு முகட்டிலிருந்து (torsion head) தொங்கவிடப்பட்டு, ஒரு ஹெல்ம் ஹோல்ட்ஸ் ஒத்திசைவியின் வாயருகில் தொங்குகிறது. முடுக்குக் கம்பியில் M என்ற ஒரு குழி ஆடி ஒட்டப்பட்டிருக்கிறது. L என்னும் விளக்கிலிருந்து வரும் ஒளிக்கதிரை இது எதிரொளித்து S என்னும் அளவுகோல் மீது செலுத்துகிறது. ஒத்திசைவி எழுப்பும் ஒலியின் செறிவை அளக்கலாம்.

ஒத்திசைவியின் வாயிலுள்ள காற்றுத்துகள் இயக்கப்படுகின்றது. அதனுல் அருவிக் கோட்டியக்கம் ஏற்பட்டு, வட்டு ஓர் இரட்டைக்குள்ளாகிறது (couple). ρ, a, θ இவை மூன்றும் முறையே வட்டுக்கருகேயுள்ள காற்றின் அடர்த்தி, எழுப்பப்பட்ட ஒலியின் வீச்சு, வட்டுக்கும் கலக்கப்படாத ஒலிபரவும் திசைக்கும்

இடையேயுள்ள கோணம் ஆயின், உருவாகும் இரட்டையின் மதிப்பு



படம் 61

$$C = \frac{1}{3} \rho\, a^3\, C^2 \sin 2\theta$$

θ வின் மதிப்பு 45°, ஆனால் $\sin 2\theta = 1$.

$$\therefore\ C = \frac{1}{3} \rho\ a^3\ C^2.$$

இந்த இரட்டையை வேறொரு முறையிலும் கணக்கிடலாம். முறுக்கு முகட்டைப் பின்பக்கமாகத் திருப்பி, ஒளிப்புள்ளியை அளவுகோலில் முன்னிருந்த இடத்திற்கே கொண்டு வரவேண்டும். இதைச் செய்ய முறுக்கு முகட்டை ϕ என்ற கோணம்வரை திருப்ப நேர்ந்தால், (ஓர் அலகு முறுக்கு உடைய மீட்சி இரட்டையின் மதிப்பு $= \mu$)

$$C = \mu\phi.$$

$$\therefore\ \mu\phi = \frac{1}{3}\rho\, a^3\, C^2$$

இதிலிருந்து ஒலியலையின் வீச்சு a தெரிந்துவிடும். வீச்சிலிருந்து ஒலியின் செறிவைக் கணக்கிட்டுவிடலாம்.

V கேள் திறன் எல்லைகள்

(1) கேள் சுருதியின் கீழ் எல்லை (lowest audible pitch) ; இரு சங்குகளைப் பயன்படுத்தி ஹெல்ம் ஹோல்ட்ஸ் கீழ்ச் சுருதியைக் கண்டுபிடித்தார். அதிர்வெண்கள் 12, 13 உடைய இரண்டு

ஒலிகளை ஒரே சமயத்திலெழுப்பினர். எதிர்பாராதவிதமாக மூன்று விம்மல்கள் கேட்டன. ஆகவே, விம்மல்களுண்டாக்கிய ஒலிகள் முதலில் எழுப்பிய 12, 13 சுருதிகளுள்ளவைதானு அல்லது வேறு ஒலிகளாவென்று ஆராய்ந்ததில், மூல சுருதிகள் கேட்கப் படவேயில்லை யென்றும், கேட்கப்பட்ட ஒலிகளின் சுருதிகள் 36, 39 என்றும் தெரிய வந்தது. அதனுல்தான் 3 விம்மல்களுண்டாயின. தொடர்ந்து செய்யப்பட்ட சோதனைகளிலிருந்து 30-க்குக் கீழுள்ள எந்தச் சுருதியையும் கேட்க முடியாதென்று தெரியவந்தது. பிரியர் (Preyer) பளுவிடப்பட்ட குழலிகளை (Loaded reeds) இயக்கி, 15வரை சுருதியுள்ள ஒலியைக் கேட்பதாக நினைத்தார். ஆனுல், பிரியர் மூல ஒலியைக் கேட்டிருக்க முடியாது; ஏதாவது மேலொலி யொன்றைத்தான் கேட்டிருக்க வேண்டுமென்று அபிப்பி ராயப்பட்டார். ஆனுல், எல்லிஸ் (Ellis) 15, 19 சுருதிகளுடைய ஒலிகளை இரண்டு குழலிகளால் எழுப்பி, விநாடிக்கு 4 விம்மல்களை எண்ணினர்.

(2) கேள் சுருதியின் மேலெல்லை: இதே அத்தியாயத்தில் முன்னர் கூறப்பட்ட ராலேயின் முறையைக் கையாண்டு மேல் எல்லையை நிர்ணயிக்க முடிந்தது. பொதுவாக 10,000-க்குமேல் சுருதியுள்ள எந்த ஒலியையும் காதால் கேட்க முடியாது. ஆனுல், ராலே 50,000வரை சுருதிகளுள்ள புள்ளொலிகளை (Bird calls) நுணுக்கமாகக் கண்டார். ஆனுல், அதற்குக் காதைப் பயன்படுத் தாமல் உணர்வுச் சுடர்களை உபயோகித்தார். அதனுற்றுன் அவ்வளவு பெரிய சுருதியுள்ள ஒலியை அவரால் ஆராய முடிந்தது.

(3) செவி எல்லையின் கீழ் அலை வீச்சு: சுலபமான வழியில் ஒலி அலையின் வீச்சை ராலே கண்டுபிடித்தார். ஓர் ஊதல் சீராக 2730 சுருதியில் ஊதப்பட்டது. அதன் அழுத்தம் 9·5 செ.மீ. என்று அளக்கப்பட்டது. இவ் வொலி 820 மீட்டருக்கு மேல் கேட்கவில்லை. இந்தச் சீரான நிலையில் ஊதலிலிருந்து 196 க.செ.மீ. ஒவ்வொரு விநாடியும் வெளி வந்தது. ஆகையால்,

$$\left.\begin{array}{l}\text{ஊதலிலிருந்து ஒவ்வொரு விநாடியும்}\\ \text{வெளிவரும் ஆற்றல்}\end{array}\right\} = 196 \times 9{\cdot}5 \times 981 \text{ எர்க்குகள்}$$

820 மீட்டர் ஆரமுள்ள ஒரு குளோபின் பரப்பில் இவ்வொலி விழுகிறது ஆகையால்,

$$\left.\begin{array}{l}\text{ஒரு விநாடியில் அலகு பரப்பு}\\ \text{வழியாகச் செல்லும் ஆற்றல்}\end{array}\right\} = \frac{196 \times 9{\cdot}5 \times 981}{4\pi \times (82000)^2}$$

இதுதான் குளோபின் பரப்பிலோடும் ஆற்றலோட்டம் (energy-current). ρ, a, ω, C முதலியன காற்றின் அடர்த்தி, அலையின் வீச்சு, கோண விசைவேகம், ஒலியின் வேகம் என்றுல், இந்த ஆற்ற லோட்டத்தின்

மதிப்பு $= \frac{1}{2} \rho a^2 \omega^2 C.$

இப்பொழுது ρ = ·0013 கி/க. செ.மீ.

$= \omega\ 2\pi n$

$= 2\pi \times 2730$

$C = 34100$ செ.மீ./செ.

$$\therefore \frac{1}{2} \times \cdot 0013 \times 4\pi^2 (2730)^2 \times 34100 \times a^2 = \frac{196 \times \cdot 5 \times 981}{4\pi (82{,}000)^2}$$

$\therefore a = 5\cdot 8 \times 10^{-8}$ செ. மீ.

ஒலி ஆற்றல் எல்லாம் ஒலியாக மாறி விடுவதாகவும், வழியில் கவரப்படவில்லையென்றும் கருதினால் ஒலி கேட்கும்பொழுது அலையின் வீச்சுக்கு இந்த மதிப்பு இருக்கும். இவ் வலைவீச்சி னின்றும் ஒலியின் செறிவைக் கணக்கிடமுடியும்.

உதாரணங்கள்

1. ஒரு வட்டுச் சங்கின் விளிம்பில் 32 துளைகள் இருக்கின்றன. அது நிமிடத்திற்கு 1050 சுற்றுகள் சுழல்கிறது. இந்தச் சுருதிக்குச் சரியான மூல சுரத்தையெழுப்பும் திறந்த ஆர்கன் குழாயின் நீளத்தைக் கணக்கிடுக. குழாயின் விட்டம் = 3 அங்குலம்; ஒலியின் வேகம் = 1086 அடி/செ.

∴ வட்டச் சங்கின் சுருதி $(n) = \frac{32 \times 1050}{60}$

குழாயின் நீளம் l என்று வைத்துக் கொண்டால், அது மூல சுரத்தை யெழுப்பும்பொழுது, அலைநீளம்

$$\frac{\lambda}{2} = l + e$$

$$= l + \cdot 3d$$

$$\therefore \quad \lambda = 2\,(l + \cdot 3d)$$

$$n = \frac{32 \times 1050}{60}$$

$$\therefore \quad C = n\lambda = \frac{32 \times 1050}{60} \times 2\left(l + \cdot 3 \times \frac{3}{12}\right)$$

$$i.e.\ 1086 = \frac{32 \times 1050 \times 2\,(l + \cdot\frac{3}{4})}{60}$$

$\therefore \quad l = 10\cdot 7$ இன்.

2. விழும் கண்ணாடித் தட்டுச் சோதனையில் முதல் 10 அலைகளின் நீளம் = 1·5 செ.மீ.; முதல் 20 அலைகளின் நீளம் = 5·4 செ.மீ. இசைக்கவையின் அதிர்வெண்ணைக் காண்க.

கண்டுபிடிக்க வேண்டியது = N

ஆரம்ப வேகம் = u

$$1{\cdot}5 = u\left(\frac{10}{N}\right) + \tfrac{1}{2}g\left(\frac{10}{N}\right)^2$$

$$5{\cdot}4 = u\left(\frac{20}{N}\right) + \tfrac{1}{2}g\left(\frac{20}{N}\right)^2$$

$$= 2u\left(\frac{10}{N}\right) + 2 \times 2 \times \tfrac{1}{2}g\left(\frac{10}{N}\right)^2$$

$$= 2\left[\frac{u}{10}N + \tfrac{1}{2}g\left(\frac{10}{N}\right)^2\right] + g\left(\frac{10}{N}\right)^2$$

$$= 2 \times 1{\cdot}5 + 980\left(\frac{10}{N}\right)^2$$

$$\frac{98 \times 100}{N^2} = 5{\cdot}4 - 3 = 2{\cdot}4$$

$$N^2 = \frac{980 \times 100}{2{\cdot}4} = 202{\cdot}2$$

$$N = 20{\cdot}2$$

3. ஒரு ஃபோனிக் சக்கரத்தில் 32 பற்களுள்ளன. ஓர் இசைக்கவையால் தடை செய்யப்படும் மின்னோட்டம் சக்கரத்தின் மின்காந்தச் சுருள்களில் பாயும்பொழுது, சக்கரம் நிமிடத்திற்கு 240 சுற்றுகள் சுழல்கின்றது. அப்படியாயின், இசைக்கவையின் அதிர்வெண்ணைக் காண்.

அதிர்வெண் = ஒரு விநாடியில் நகரும் பற்கள்.

$$= \frac{32 \times 240}{60}$$

$$= 128$$

கேள்விகள்

1. திடப்பொருள்களில் ஒலிவேகத்தை அளக்க மேற்கொள்ளப்பட்ட ஆய்வுகளை விளக்கவும்.

2. காற்றில் ஒலிவேகத்தை அளக்க ஹெப் உபயோகித்த தொலைபேசி முறையை விளக்கவும்.

3. சுருதி மிக்க ஒலிகளின் அதிர்வெண்களை எவ்வாறு கண்டு பிடிப்பது ?

4. நீரில் ஒலி வேகத்தை அளக்கப் பின்பற்றப்பட்ட முறையை விளக்கவும்.

5. ஸ்ட்ரோபாஸ்கோப்பைப் பயன்படுத்தி இசைக் கவையின் அதிர்வெண்ணைக் கண்டுபிடிக்கும் விதத்தை விளக்குக.

6. விழும் தட்டு முறையில் எப்படி ஓர் இசைக்கவட்டின் அதிர்வெண்ணைக் கண்டுபிடிப்பது.

7. பின் கண்டவற்றைக் குறிப்புடன் விளக்குக:

(a) செவியின் கேள்திறன் எல்லைகள்.

(b) சவார்ட் சக்கரம்.

(c) கான்னியார்ட் டீ லட்டூர்.

(d) ஃபோனிக் சக்கரம்.

5. இசை ஒலிகள்

1. **இசையும் இரைச்சலும்**: கூச்சலைப்போலன்றி, இசை தொடர்ச்சியாகவும், தெளிவாகவும், இனிமையாகவும் இருக்கும். ஒலியின் சீரிசை அலைகள் இசையிலிருந்தெழும்புவதுதான். இசை தொனியென்பது ஓர் எளிய சுரத்திலிருந்தோ அல்லது பல சுரங்களின் தொகுப்பிலிருந்தோதான் விரைவில் வரும்பொழுது ஏற்படுகின்றது. எனவே, ஓர் இசை தொனியைப் பகுப்பாய்வு செய்தால் அதில் பல தனித்த இசை சுரங்களிருப்பதைக் காணலாம். உரத்த இரைச்சல், வண்டிகளின் 'கடகட,' ஒலிகள், இடிமுழக்கம் போன்றவை கூச்சலாகும். கூச்சலின் பகுப்புகளெல்லாம் கட்டையாகவும் தெளிவின்றியும் முரணிசைக்கும். சில பௌதிகப் பரும அளவுகளின் மூலம் இசை சுரங்களை நிர்ணயிக்கலாம்; அதனால் எந்த நேரத்திலும், எந்த இடத்திலும் அவற்றைத் திரும்பவும் எழுப்பலாம். கூச்சல்களை அளப்பதற்கு வழிகளிருந்தபோதிலும், அவற்றிற்குக் குறிப்பிட்ட பண்புகள் கிடையாது.

2. **இசை சுரங்களின் பண்புகள்**: இசை சுரங்களுக்கு மூன்று முக்கியமான பண்புகள் உண்டு. ஒன்று சுருதி (pitch) ஆகும். இது ஒலியின் அதிர்வெண்ணைப் பொறுத்திருக்கும். குரல் கூரியதாக இருப்பதற்கும், தட்டையாக அரை தொனியுடனிருப்பதற்கும் சுருதிதான் காரணம். சுருதி அதிகமாக இருந்தால் ஒலி கூர்மையாகவும், குறைவாக இருந்தால் தட்டையாகவும் இருக்கும். இரண்டாவது பண்பு குரலின் செறிவு அல்லது உரப்பு. இது குரலின் பருமனைக் குறிக்கும். செறிவு, குரலெழுப்பும் பொருளின் துடிப்பின் வீச்சைப் பொறுத்திருக்கும். அது வீச்சின் இருமடிக்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கிறது. வீச்சு இரட்டித்தால் செறிவு நான்கு மடங்காகும்; வீச்சு மூன்று பங்கானல் ஒலியின் செறிவு ஒன்பது மடங்காகும். மூன்றாவது குணம்—மிக முக்கியமானதுங்கூட—சுரப் பண்பு அல்லது டிம்பர் (timbre) எனப்படும். இரண்டு ஒலிகள், ஒரே

சுருதி, ஒரே உரப்பு உள்ளவையானாலும், அவை வெவ்வேறு இசைகள் என்று அறிவதற்கு உதவுவது அவற்றின் சுரப் பண்பு தான். இசைக்கவையிலிருந்து எழும் ஒலியை, பிடிலிலிருந்து வரும் ஒலியிலிருந்தோ அல்லது வீணையிலிருந்து வரும் ஒலியிலிருந்தோ நம்மால் சுலபமாகப் பிரித்தறிய முடிகிறதென்றால், அதற்குக் காரணம் ஒவ்வொரு ஒலியின் தனித்தனி பண்புகளே யாகும். ஒலியெழுப்பும் பொருளின் இயல்பு (nature), இயக்கத்தின் முறை, துடிப்பின் வகை இவற்றைப் பொறுத்துள்ளது ஒலியின் சுரப் பண்பு. ஓர் இசைக்கவையின் சுரம் சீரிசைத் தன்மை வாய்ந்தது; ஆனால், துடிக்கும் கம்பி தனிமத் தன்மை (periodic) வாய்ந்திருந்தபோதிலும், சீரிசைத் தன்மையுடையதன்று. பிடிலின் கம்பி வில்லதிர்க்கப்படுகிறது (bowed); வீணையின் கம்பியோ மீட்டப்படுகிறது (Plucked). இதுவும் ஒலியின் சுரப் பண்பு வேறுபாடுகளுக்கு ஒரு முக்கிய காரணமாகும்.

3. (i) சீரிசைப் பகுப்பாய்வு: ஒலியின் பௌதிகப் பண்புகளையும் (physical quality), அதிர்வுகளையும் ஆய்ந்து காணும் முறை சீரிசைப் பகுப்பாய்வு (harmonic analysis) எனப்படும்.

ஓர் இசைக்கருவியின் ஒற்றை ஒலியை ஆராய்ந்தால், அதில் பல சுரங்களிருப்பது தெரியவரும்; இவற்றில் மிக உரத்த குரலிலிருப்பதற்குத்தான் மிகக் குறைந்த அதிர்வெண்ணிருக்கும். இந்தக் குறைந்த அதிர்வெண்ணுடைய குரலுக்குத்தான் மூல சுரம் (fundamental) என்று பெயர். மற்றக் குரல்களுக்கு மேல் சுரங்கள் (upper-partials or over tones) என்று பெயர். இம் மேல் சுரங்களில், மூல சுரத்தின் முழு எண் மடக்கையாக (integral multiples) இருப்பவைக்குக் கிளை சுரங்கள் (harmonics) எனப் பெயருண்டு.

ஹெல்ம் ஹோல்ட்ஸ் என்பவர் பல பண்புகளுடைய சுரங்களை ஆழ்ந்து ஆராய்ந்து தீர்மானமாக, 'இசையொலியின் பண்புகள் ஒத்திசைக்கும் மேல் சுரங்களின் எண்ணிக்கையையும் அவற்றின் தொடர்பு வலிமையையும் மாத்திரமே பொறுத்திருக்கின்றன; அவற்றின் அதிர்வுநிலை வேறுபாடுகளுக்கும் சுரப்பண்புகளுக்கும் எந்தவிதத் தொடர்புமில்லை' என்று கூறியுள்ளார். ஆனால், சுரப்பண்புகளுக்கும் அதிர்வுநிலை வேறுபாடுகளுக்கும் சம்பந்தமில்லையென்ற கருத்தைப் பல அறிஞர்கள் மறுத்துள்ளார்கள். முக்கியமாக எல்லிஸ் (Ellis) என்பவர் 'ஓசைகளின் சுரப் பண்புகள் முதன்மையாகக் கிளை சுரங்களின் எண்ணிக்கையையும் அவற்றின் வலிமையையும் பொறுத்திருந்தபோதிலும், கிளை

சுரங்களின் அதிர்வுநிலை வேறுபாடுகளை முற்றிலும் ஒதுக்கித் தள்ளிவிட முடியாது', என்று கருதுகிறார். எனவே, ஓர் ஒலியின் சுரப்பண்புகளை அதிர்வுநிலை வேறுபாடு முற்றிலும் பாதிக்காமலிருக்கலாம்; ஆனால், இரு கலைஞர்கள் ஒரே பாட்டைப் பாடும் பொழுது புலப்படும் வேறுபாட்டிற்கும், ஒரே குடும்பத்தைச் சேர்ந்த இரு இசைக் கருவிகள் ஒரே ஒலியையெழுப்பும் பொழுது புலப்படும் வித்தியாசத்திற்கும் மூல காரணம் அதிர்வுநிலை வேறுபாடுதானென்றும் எண்ணுவதில் தவறொன்றுமில்லை.

மேலும், மேல் சுரங்களோடின்றி, விம்மல் ஓசைகள் (beat-tones) என்ற ஒருவித ஒலிகளும் சுரப்பண்புகளை ஒருவிதத்தில் பாதிக்கின்றன. ஊடகப் பொருளில் (medium) இவை அதிர்வுகளாக இருப்பதில்லை; ஆனால், நம் காது இவற்றை உணர்கின்றது. இவை சுரத்தின் இனிமையை வெகுவாக அதிகரிக்கின்றன.

ஹெல்ம் ஹோல்ட்ஸின் முறை: ஹெல்ம் ஹோல்ட்ஸ் கலப்பொலிகளை (compound notes) ஆராயும் பொருட்டு, ஒலியலைகளின் வழியில் பல ஒத்திசைவிகளை அமைத்தார். ஒவ்வொரு ஒத்திசைவியின் பருமனையும், கழுத்தின் குறுக்களவையும் தக்கவாறு மாற்றி, பல சுருதிகளுடன் ஒத்திசைக்கும்படி அமைத்தார். ஒத்திசைவிகளைக் கேட்பதைவிட பார்ப்பதுதான் சுலபமென்று, ஒவ்வொரு ஒத்திசைவிக்கும் ஓர் உணர்வு நுட்ப அனலையும் (sensitive flame) அமைத்தார். அனல் துடிப்புகளிலிருந்து ஒலிக் கூறுகளின் செறிவைக் கணக்கிட்டார். ஒத்திசைவிகளின் அளவுகளிலிருந்து கூறுகளின் அதிர்வெண்களைக் கணக்கிட்டார். சோதனைகளைப் பல முறை நடத்தி, ஒவ்வொரு முறையும் ஒத்திசைவிகளின் அளவுகளை மாற்றி, பல சுரங்களின் அதிர்வெண்களையும், சரிவரத் தீர்மானித்தார்; மிக மந்தமான ஒலிகளையும் சுலபமாக அவரால் காணமுடிந்தது. இம்முறையில் பல கலப்பொலிகளைப் பகுப்பாய்ந்ததுடன் நில்லாமல், அதே பண்புகளுடைய பல தனியொலிகளை ஒன்று சேர்த்தும் பார்த்தார். அப்பொழுது, வியக்கத்தக்க வகையில் அவை ஒத்திருந்தன.

(iii) அலைப்படங்களின் பகுப்பாய்வு முறைகள்

ஃபூரியர் பகுப்பாய்வு (Fourier analysis): ஃபூரியர் தேற்றத்தை (theorem) ஒலியியலுக்குப் பயன்படுத்தி இசை சுரங்களை நுணுக்கமாக ஆராயலாம். இத் தேற்றத்தின்படி காதில் படும் எந்த அதிர்வையும், அது எவ்வளவு சிக்கலானதாக இருந்தபோதிலும், பல எளிய அதிர்வுகளாகப் பிரிக்கலாம். இவ்வெளிய அதிர்வுகளுக்கிடையே முழு எண் தொடர்பு

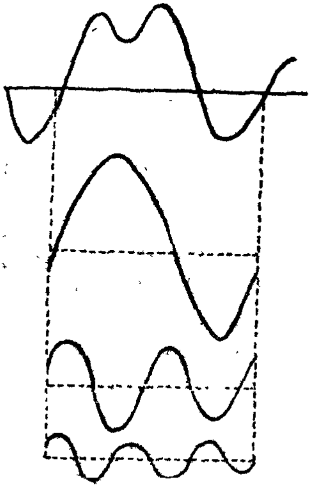
(integral relation) நிலவும். இங்கு ஓர் உதாரணத்தின் மூலம், எப்படி ஒரு சிக்கலான இசையொலியின் அலையுருவம் (wave-form), பல எளிய அலை உருவங்களின் தொகுப்பாக விளங்குகிறதென்பதை விளக்கலாம். படம் 62-(i)-ல் வயலின் ஒலியொன்றின் அலை உருவம் கொடுக்கப்பட்டுள்ளது. இது மூன்று ஸைன் வளை கோடுகளாலானது என்பதை நிரூபிக்கலாம். இம் மூன்று அலைகளின் வீச்சுகளையும் அதிர்வெண்களையும் ஃபூரியரின் பகுப்பாய்வின் மூலம் தீர்மானிக்க முடியும். மூன்று அலைகளின் சமன்பாடுகளைக் கீழ்க்கண்டவாறு எழுதலாம்.

$$y_1 = A_1 \sin(\omega t - \delta_1)$$

$$y_2 = A_2 \sin(2\omega t - \delta_2)$$

$$y_3 = A_3 \sin(3\omega t - \delta_3)$$

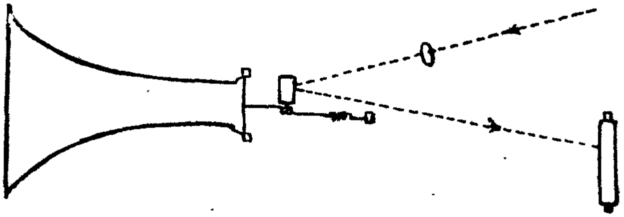
இந்த மூன்று சமன்பாடுகளிலும். A_1, A_2, A_3 என்பன மூன்று அலைகளின் வீச்சுகளாகும். முதல் அலையின் அதிர்வெண்—அதாவது மூல சுரத்தின் அதிர்வெண்—$n_1 = \frac{\omega}{2\pi}$; இரண்டாவது அலையின்—அதாவது முதல் மேல்சுரத்தின் அதிர்வெண் $n_2 = 2n_1$; இரண்டாவது மேல்சுரத்தின் அதிர்வெண் $n_3 = 3n_1$. இவற்றினின்றும் மூல சுரத்தின் மேல் சுரங்கள், அதன் அதிர்வெண்ணில் இரண்டு மடங்கு மூன்று மடங்கு என்றுகி, கிளை சுரங்களாக விளங்குகின்றனவென்பது தெரிகிறது. மேலும் வீச்சுகளும் $A_1 : A_2 : A_3 = 5 : 2 : 1$ என்ற விகிதத்திலிருக்கின்றனவென்பது தெரிகின்றது. எனவே, மூல சுருதியின் செறிவு, முதல் கிளை சுருதியின் செறிவைவிட சுமார் 6 மடங்கு அதிகமென்றும், இரண்டாம் கிளை சுருதியின் செறிவைவிட 25 மடங்கு அதிகமென்றும் விளங்குகிறது.



படம் 62

(iv) ஓர் ஒலியின் அலை உருவத்தைப் பதிவுசெய்து விட்டால் ஒலியிலுள்ள உடன் சுருதிகளையும் அவற்றின் செறிவு, அலைவெண்

முதலியவற்றையும் நன்கறிந்து கொள்ளலாம். அவ்வாறு பதிவு செய்யும் இரு கருவிகளை இங்கு விவரிப்போம்.



படம் 63

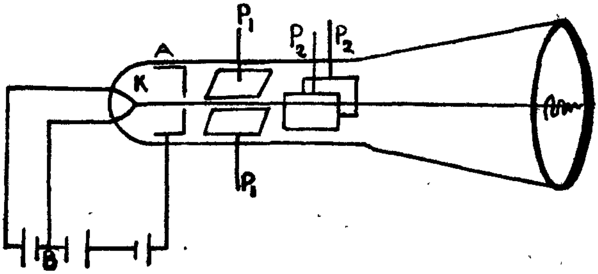
(a) மில்லர் ஃபோனோடீக் (Miller's phonodeik): இக் கருவி படம் 63-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. P என்பது அகன்ற வாயுள்ள புனல். அதன் குறுகிய பக்கம் ஒரு மெல்லிய தகட்டால் மூடப்பட்டுள்ளது. அதன் மத்தியில் ஒரு பிளாட்டினம் கம்பி சேர்க்கப்பட்டிருக்கிறது. கம்பி ஒரு சிறிய எஃகு உருளையில் சுற்றப்பட்டு, பிறகு ஒரு வில்லின் (spring) உதவியால் ஒரு முளையில் கட்டப்பட்டுள்ளது. உருளையின்மேல் ஒரு குவியாடி பொருத்தப்பட்டுள்ளது. இந்தக் குவியாடியானது ஒரு விளக்கிலிருந்து வரும் ஒளிக்கதிரைப் பிரதிபலித்து உருளும் ஒரு ஃபோட்டோ காகிதத்தில் விழும்படி செய்யும். ஆராயப்படும் ஒலி புனலில் வந்து விழும்படி கருவியை அமைக்க வேண்டும். வரும் ஒலியைப் புனல் வாங்கி அதன் பின்புறத்திலுள்ள தகட்டின்மேல் படச் செய்யும். தகடு ஒலிக்குத் தகுந்தாற்போல் அசைவுறும். அதனுல் கம்பி முன்னும் பின்னுமாக இழுக்கப்படும். அப்பொழுது எஃகு உருளையும், அதன் மேலிருக்கும் குவியாடியும் முன்னும் பின்னும் உருளும். உருளும் குவியாடியால் எதிரொளிக்கப்படும் ஒளிக்கதிர் போட்டோ காகிதத்தில் பட்டு, உருளும் ஃபோட்டோ காகிதத்தில் பட்டு, புனலில் நுழையும் ஒலிக்குத் தகுந்தாற்போன்ற பதிவை ஏற்படுத்தும். மில்லர் பல இசைக் கருவிகளின் ஒலிகளைப் பதிவு செய்து, ஃபூரியர் பகுப்பாய்வு முறைப்படி, அவற்றிலுள்ள பல சுருதிகளையும் கண்டுபிடித்தார். இக் கருவியின் முக்கியமான நன்மை தகட்டின் துடிப்பு சுமார் 2500 மடங்கு பெருக்கப்படுவதுதான். அலை உருவத்தின் மிகச் சிறிய வளைவுங்கூட நன்ருகத் தெரியும். ஆனுல், ஆராயப்படும் ஒலி சுருதியும், தகட்டின் இயற்கை சுருதியும் சமமாக இருந்துவிட்டால், இறுதியில் காணப்படும் தோற்றம் மிகைப்படுத்தப்படும். இதைத்

தவிர்க்க, மில்லர் முதலிலேயே சமச் செறிவுகளுடைய பல ஒலிகளைப் பதிவு செய்து கருவியை அளவீடு (calibration) செய்தார். அளவீட்டுக் கோடுகளைப் (calibration graphs) பயன்படுத்தி அலை உருவங்களைத் திருத்திக் கொண்டார்.

(b) எதிர்மின் கதிர் ஆஸிலோகிராஃப் (Cathode ray oscillograph): பொதுவாக ஒலி அலை வடிவத்தை ஒளிப்படமாக்கும் கருவிக்கு ஆஸிலோகிராஃப் என்று பெயர். இக் கருவியில் எடைக்குறைவான துகள் ஒன்று மின்விசை, காந்தவிசை ஆகிய இரண்டு விசைகளுக் குட்படுத்தப்பட்டிருக்கும். இந்த இரண்டு விசைகளும் ஒலி அலைத் தாக்குகளால் கட்டுப்படுத்தப்படும் பொழுது, துகளானது ஊடகப் பொருளின் துகள் போலவே அலைவுறும். துகளின் அலைவுகளை ஒளிப்படமெடுத்தால், ஒலியின் அலையுருவம் கிடைக்கும்.

எதிர்மின் கதிர் ஆஸிலோகிராஃபில், ஓர் எலெக்ட்ரான் அலைவுறும் துகளாக அமைந்துள்ளது. சுலபமாகக் கிடைக்கக் கூடிய துகள்களுள் எலெக்ட்ரானே மிக இலேசானதாகையால், அதன் நிலைமம் (inertia) அலைவுருவத்தை எந்த விதத்திலும் குலைக்காது. ஒலியின் உண்மையான உருவத்தை ஒளிப்படத்திற் காணலாம்.

இக் கருவியின் முக்கிய உறுப்பு, கூம்பு வடிவமுள்ள வெற்றிடமாக்கப்பட்ட ஒரு கண்ணாடிக் குழாய். இதில் *K* என்னும் ஓர் எதிர் மின் வாயும் (cathode), *A* என்னும் ஒரு நேர் மின் வாயும்



படம் 64

(anode) பொருத்தப்பட்டுள்ளன. எதிர்மின்வாய் சுண்ணாம்பு பூசப்பட்ட ஒரு டங்ஸ்டன் மின்னிழை நேர் மின்வாய் வில்லை வடிவமானது. அதன் மையத்தில் ஒரு துவாரம் இருக்கிறது. எதிர் மின்வாயிலிருந்து கிளம்பும் எலெக்ட்ரான்களை யெல்லாம் குழாயின் அச்சின் வழியே செல்ல வைக்கவல்ல குவியமுறை

யொன்றும் கருவியில் அமைக்கப்பட்டுள்ளது. குழாயின் அகன்ற முனையில் ஓர் ஒளிரும் திரை (fluorescent screen) இருக்கின்றது. P_1, P_1 இரண்டும் இரண்டு இணை தகடுகள். இவற்றிற்கிடையே யுள்ள மின்னழுத்த வேறுபாட்டினாலேற்படும் மின்விசை எலெக்ட்ரான்களைச் செங்குத்தான திசையில் விலக்கும். அதேபோல் P_2, P_2 என்னும் இணை தகடுகள் கிடைமட்டத் திசையில் எலெக்ட்ரான்களை விலக்கமுறச்செய்யும்.

டங்ஸ்டன் மின்னிழை ஒரு மின்கலத்துடன் இணைக்கப் பட்டுள்ளது. அதனின்றும் வளமான எலெக்ட்ரான் கற்றை கிளம்பி, குழாயின் அச்சு வழியே சென்று, ஒளிரும் திரையின் மையத்தில் 'பளிச்'சென்ற புள்ளியொன்றை யுண்டாக்கும். இரண்டு ஜோடி தகடுகளுக்கிடையே மின்னழுத்த வேறுபாடு களேற்பட்டால், புள்ளியானது செங்குத்துத் திசையிலும், கிடைமட்டத் திசையிலும் இழுக்கப்பட்டுப் படமொன்றை வரையும். இப் படத்தின் உருவம் தகடுகளுள்ளான மின்னழுத்த வேறுபாடு களைப் பொறுத்திருக்கும்.

அலை உருவப் படம் வரையப்படவேண்டிய ஒலியின் ஆற்றல் ஒரு மைக்ரோஃபோனின் மூலம் மின்னாற்றலாக மாற்றப்படு கிறது. ஒலி வேறுபாட்டுக்குத் தகுந்தாற்போல் மின்னாற்றலிலும் வேறுபாடு ஏற்படும். மாறுபடும் இம் மின்னாற்றலை, எலெக்ட்ரான் கதிரை மேலும் கீழும் இழுக்கும் P_1 P_1 தகடுகளிலூட்டினால், ஒளிரும் திரையிலுள்ள புள்ளி மேலும் கீழும் செங்குத்தான கோடு ஒன்றை வரையும். P_2 P_2 தகடுகளுக்கும் வேறுபடும் மின்னழுத்தத்தையூட்டினால் திரையில் ஓர் அலை உருவப்படம் வரையப்படும். இப் படம் ஒலிக்குத் தகுந்தாற்போல் மாறி மாறி புதுப்புது உருவங்களைத் தோற்றுவிக்கும். ஒளிரும் திரைக்குப் பதிலாக ஒளிப்படத் தகடொன்றைப் (photographic plate) பொருத்தினால் ஒலி அலை உருவம் படம் பிடிக்கப்படும்.

ஒலி அலை உருவப்படத்தை ஃபூரியர் பகுப்பாய்வு மூலம் ஆராய்ந்து, சீரிசைத் துடிப்புக் கூறுகளைக் கண்டுபிடிக்கலாம். இதே சீரிசைத் துடிப்புக் கூறுகளைத் தனித்தனியே உண்டுபண்ணி, அவற்றை ஒன்றாக இணைத்து இதனால் விளையும் படத்தை முத லில் ஆராயப்பட்ட படத்துடன் ஒப்பிட்டுப்பார்த்து, பகுப்பாய்வு சரியாவென்றும் பார்க்கலாம். தனித்தனி கூறுகளை இணைக்கும் முறைக்குச் சீரிசைத் தொகுப்பு (harmonic synthesis) என்று பெயர்.

4. விம்மலோசைகள் (Beat-tones): இரண்டு சீரிசை ஒலிகள் ஒன்றாக இயக்கப்படும்பொழுது, அவற்றின் அதிர்வெண்களின் வித்தியாசம் அளவுக்குள் இருந்தால் விம்மல்கள் ஏற்படுகின்றன

வென்பது நமக்குத் தெரியும். இவ் வித்தியாசம் மிகக் குறைவாக விருந்தால், ஒலியெழுவதும் (waxing), ஒலியழிவதும் (waning) எளிதாக விளங்கும். மினுமினுக்கும் ஒளி கண்ணுக்கு உறுத்தல் கொடுப்பதுபோல், விம்மல்களும் பொதுவாகக் காதுக்கு வெறுப் பாகவேயிருக்கும். ஆனல், விம்மல்களுக்கிடையேயுள்ள இடை வெளி நேரம் அதிகமாயிருந்தால், எழுமொலியையும் அழியு மொலியையும் கேட்டுப் பழகிப்போக வேண்டிய நேரமிருக்கும். அப்பொழுது அவை அவ்வளவு கடுமையாகவிருக்காது. அது போலவே விம்மல்களுக்கிடையேயுள்ள நேரம் குறையக் குறைய வெறுப்பும் அதிகரித்துக் கொண்டே போகும். ஆனல், இடைவெளி நேரம் மிகக் குறைந்து விம்மல்கள் அடிக்கடி உண்டாளுல் ஒன்றி லிருந்து ஒன்றைப் பிரித்தெடுப்பது முடியாது. அப்பொழுது விம்மல் களெல்லாம் ஒன்ருக இணைந்து புது இசையின் பண்ணைப் பெறு கின்றன. இப் புதிய ஓசைக்குத்தான் விம்மலோசை அல்லது விம்மலொலியென்று பெயர். விம்மலொலிகள் அக உணர்வுக்கு (subjective) மாத்திரம் புலனுவதால், ஊடகப் பொருளின் துடிப்பு களைக் காண முடியாது. இவற்றிற்குரிய அலை உருவங்களைக் காண முடியாது; காதை மாத்திரம் இயக்குகின்றன. உதாரணமாக அதிர்வெண்கள் 2000, 2256 உடைய இரண்டு ஒலிகளை ஒரே சமயத்திலெழுப்பினல், இவையிரண்டிற்கும் வித்தியாசமான 256 அதிர்வெண்ணுடைய புதியதொரு விம்மலொலியை உணர முடியும்.

விம்மலொலிகள் புற உணர்வற்றவையாக விருந்தபோதிலும், இசைக்கருவிகளெழுப்பும் இசையின் பண்ணைத் தீர்மானிக்க இவை பெரிதும் உதவுகின்றன.

5. கூட்டோசை (Combination tone): இரண்டு தூய்மையான ஒலிகள் ஒரே சமயத்தில் காதில் ஒலித்தால், சில சமயங்களில் இவ் விரண்டு ஒலிகளுடன், கூட்டாக மேலும் பல ஒலிகள் எழும்பு வதுண்டு. இவற்றிற்குத்தான் 'கூட்டோசைகள்' என்று பெயர். பதினெட்டாவது நூற்ருண்டில் இம் மிகை ஒலிகளை (extra tones) கிட்டத்தட்ட ஒரே சமயத்தில் டார்ட்டினி (Tartini), சோர்ஸ் (Sorge), ரோமியூ (Romiew) என்ற மூன்று இசை அறிஞர்களும் தான் கவனித்தார்கள் என்று தெரிய வருகிறது. ஆனல், முதன் முதலில் கண்டு பிடிக்கப்பட்ட கூட்டோசையின் அதிர்வெண் மூல சுருதிகளிரண்டின் வித்தியாசமாகவிருக்கலாமென்று கருதப் பட்டது. இவ்வொலி இத்தாலி நாட்டில் டார்ட்டினி என்பவரால் கவனிக்கப்பட்டது. இக்காரணத்தினுல்தான் இதற்கு, 'டார்ட்டினி ஓசை' என்றும் பெயர்வந்தது. இதற்குப் பகுவோசை', (differential tone) என்ற பெயருமுண்டு. இப் பகுவோசை ஆரம்ப

ஓசைகளிலொன்றுடன் கூடி இரண்டாவது வரிசை (second order) பகுவோசையொன்றை யெழுப்பலாம். இதுபோலவே மூன்றாவது வரிசை பகுவோசையையு முண்டாக்கலாம். ஒரு பகுவோசையை உண்டாக்க அதிக அதிர்வெண்ணுடைய இரண்டு ஓசைகள் உரக்க ஒலிக்கப்பட வேண்டும். அவற்றிற்குள்ள அதிர்வெண் வேறுபாடு சுமார் 500 அல்லது 600 இருக்கலாம். உதாரணமாக, 12,600, 12,000 அதிர்வெண்களுடைய இரண்டு ஒலிகள் உரக்க ஒலிக்கப் பட்டால் 600 அதிர்வெண்ணுள்ள ஒரு பகுவோசை வெளிவரும்.

வேறு ஒரு வகை, 'கூட்டோசையும்' கிளம்புவதுண்டு. அதற்கு மிகுவோசை (summational tone) என்று பெயர். அதன் அதிர்வெண், முதன்மை ஒலிகள் (primary tones) இரண்டின் அதிர்வெண்களின் கூட்டுத் தொகையாகும். ஆனால், பொதுவாக மிகுவோசையைக் கேட்பது சற்றுக் கடினமாகவிருக்கும். குறைந்த அதிர்வெண்களுடைய இரண்டு முதன்மையொலிகளைக் கொண்டு மிகுவோசையை எழுப்புவது விரும்பத் தக்கது. உதாரணமாக, 500, 600 அதிர்வெண்களுடைய இரண்டு ஒலிகளை உரக்க வெழுப்பினால் 1100 அதிர்வெண்ணுடைய ஒரு மிகுவோசை வெளிவரும்.

பொதுவாக N_1, N_2 என்ற அதிர்வெண்களுடைய இரண்டு முதன்மை ஒலிகளை உருவாக்கினால், இவ் விரண்டு ஒலிகளுடன், $N_1 \backsim N_2$, $2N_2-N_1$, $2N_1-N$, N_1+N_2 முதலிய கூட்டோசைகள் முதன்மையொலிகளுடைய எண்மங்களுடன் (octaves) சேர்ந்து கேட்கலாம். இவ் வோசைகளை எழுப்ப முக்கியமாகக் கவனிக்க வேண்டிய விதிகள் மூன்று: (1) முதன்மையொலிகள் உரக்கவும் தொடர்ச்சியாகவும் இருக்க வேண்டும். (2) இரண்டும் சமச்செறிவுள்ள ஒலிகளாகவும் இருக்க வேண்டும். (3) எந்தக் கூட்டோசையைக் கேட்க வேண்டுமோ அதன் அருகே அதிர்வெண்ணுடைய முதன்மையொலியை முதலில் எழுப்ப வேண்டும்.

எண்ம ஓசையைத் தவிர, மற்ற இருவகை கூட்டோசைகளும் அக உணர்வை (subjective) மாத்திரந்தான் கொடுக்க வல்லவை. அதாவது, ஓசைகள் காதில்தான் படுமே தவிர, செவிக் குழாயிலுள்ள (auditory canal) காற்றுத் துகள்கள் அதிர்வதனை வேற்படுவதல்லவென்று வெகு நாள் வரை கருதப் பட்டது. ஆனால், இக் கருத்து முற்றிலு முண்மையென்று கூறிவிட முடியாது. ஏனெனில், ஆற்றல் வாய்ந்த முதன்மையொலிகளுக்குப் புற உணர்வைத் (objective existence) தர முடிகிறது. உதாரணமாக, ஹார்மோனிய வாத்தியத்தில் ஒரே சுரத்தழுத்தமுடைய இரண்டு

ஒலிகளைக் கிளப்பினால், அப்பொழுது ஏற்படும் கூட்டோசைகளால் காற்றுத் துகள்களை இயக்க முடியுமென்று தெரியவருகிறது ஓசைகளின் அதிர்வெண்ணுடைய ஒத்திசைவிகளால் ஒத்திசைக்க முடிகிறது. இருந்தபோதிலும், பெரும்பாலும் கூட்டோசைகளுக்கு அக உணர்வுதான் உண்டென்று கொள்ளலாம். இரண்டு முதன்மையொலிகளும் தனித்தனி மூலங்களினின்றும் வெளிப்பட்டால், காற்றுத் துகள்களில் அதிர்வே ஏற்படுவதில்லை; கூட்டோசை காதுக்கு மட்டுந்தான் புலப்படும். காது ஜவ்வின் இருபுறங்களிலும் சமமாக எடையேற்படவில்லை. சமச் சீரற்ற (asymmetric) நிலையிலுள்ள அப்படிப்பட்ட ஜவ்வின்மீது இரண்டு முதன்மையொலிகளும் ஒரே சமயத்தில் விழும்பொழுது ஜவ்விலேற்படும் துடிப்பே இவ் வுணர்ச்சியை அளிக்கிறது.

முதன் முதலில் லக்ரான்ஞ் (Lagrange) என்பவரும், யங் (Young) என்பவரும் பகுவோசைகள் விம்மல் ஒலிகளேயென்றும், இவற்றின் அதிர்வெண் 16-க்கு மேலிருந்தால் இவற்றைப் பகுவோசைகளாகக் கருதலாமென்றும் கருதினார்கள். இக் கருத்தைக் கோனீக் (Koenig) என்பவரும் ஆதரித்தார். எனினும் இக் கருத்தை ஏற்றுக்கொள்வதற்கில்லை. ஏனெனில், (1) இது மிகுவோசைக்கு எந்த விளக்கமும் தரவில்லை. (2) விம்மலோசை அக உணர்வைத் தான் கொடுக்கிறது. ஆகவே, இக் கருத்தின்படி கூட்டோசையும் முற்றிலும் அக உணர்வைத்தான் தரவேண்டும். ஆனால், கூட்டோசைகள் சில சமயங்களில் புற உணர்ச்சியையும் தருகின்றன வென்பதை முன்பு கண்டோம். (3) கூட்டோசைகள் விம்மலோசைகள்தான் என்றால், எப்பொழுதும் கூட்டோசைகள் கேட்கும்பொழுது விம்மல்கள் கேட்கக்கூடாது. ஆனால், சில சமயங்களில் கூட்டோசைகள் கேட்கும்பொழுது விம்மல்களும் கேட்கின்றன. இந்த முரண்பாட்டிற்கு எந்த விளக்கமும் கொடுக்க முடியவில்லை.

விம்மலொலிக் கருத்து நிராகரிக்கப்பட்டதால், ஹெல்ம் ஹோல்ட்ஸ் என்பவர் வேறொரு கருத்தை வெளியிட்டார். ஒரு பொருள் சீரிசை இயக்கத்தி லீடுபட்டிருக்கும்பொழுது மீட்சி விசையும் இடப்பெயர்ச்சியும் நேர் விகிதத்திலிருக்க வேண்டும். மீட்சி விசை-இடப் பெயர்ச்சி வரைகோடு நேர் கோடாகவும் இருத்தல் வேண்டும். ஆனால், இவ் விரண்டும் எந்த விகிதத்திலு மில்லாவிட்டால் வரைகோடு நேர்கோடாக விருக்காது. மீட்சி விசையும் இடப்பெயர்ச்சியும் நெடுக்கைச் சார்பிலிருப்பதாகக் (linear function) கூற முடியாது. அப்பொழுது ஒரு சுயேச்சை அதிர்வோ அல்லது சீரிசை விசையாலேற்படும் அதிர்வோ

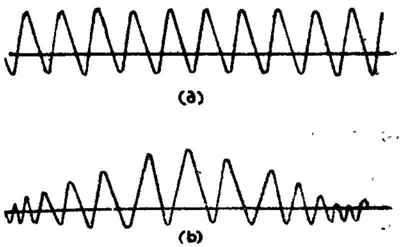
சீரிசையியக்கத்திலிருக்காது; ஆனால், பல சீரிசை இயக்கங்களின் கூட்டு விளைவு என்று கூறலாம். மேலும் இரு சீரிசை விசைகள் செயல்படும்பொழுது ஏற்படும் இயக்கத்தில் விசைகளின் அதிர்வெண்ணுடைய சில சீரிசை இயக்கங்களும், வேறு அதிர்வெண்களுடைய சீரிசையியக்கங்களும் உள்ளனவென்பதை நிரூபிக்கலாம். பின் கூறப்பட்ட வேறு அதிர்வெண்களுடைய சீரிசையியக்கங்களில் ஒன்று பகுவோசை (difference) யென்றும், மற்றொன்று மிகுவோசை (sum) யென்றும் ஹெல்ம்ஹோல்ட்ஸ் கூறினார். மேலும், அவர் கூறியதாவது காது ஐவ்வின் அதிர்வுகளில் மீட்சி விசையும் இடப்பெயர்ச்சியும் நெடுக்கைச் சார்பிலில்லாதது மாத்திரமல்ல, மீட்சிவிசை இடப்பெயர்ச்சியின் இருமடியுடன் நேர்விகிதத்திலிருக்கிறது. ஆகவே, காது ஐவ்வின் மீது ஒரே சமயத்தில் $a' \sin \omega t$, $a \sin (\omega' t + \delta)$ என்ற இரண்டு சீரிசை விசைகள் தாக்கும்பொழுது, ஏற்படும் திணிப்பு அதிர்வுகளைக் கீழ்க்காணும் சமன்பாட்டினால் குறிப்பிடலாம்.

$$m \cdot \frac{d^2x}{dt^2} + kx + k'x^2 = a \sin \omega t + a' \sin (\omega' t + \delta).$$

இச் சமன்பாட்டிற்கு விடை கண்டால் அதில், $\sin 2\omega t$, $\sin 2\omega' t$, $\sin (\omega \sim \omega')t$, $\sin (\omega + \omega')t$ என்ற பகுதிகளிருப்பதைக் காணலாம். ஆகையால், இவ் வியக்கத்தில் $N_1 = \frac{\omega}{2\pi}$, $N_2 = \frac{\omega'}{2\pi}$, $N_3 = \frac{(\omega \sim \omega')}{2\pi}$, $N_4 = \frac{(\omega + \omega')}{2\pi}$ போன்ற அதிர்வெண்களுடைய சீரிசை இயக்கங்கள் கலந்திருக்க வேண்டுமென்று தெரிகிறது. $N_3 = \frac{\omega \sim \omega'}{2\pi} = (N_1 \sim N_2)$ என்பது பகுவோசை; $N_4 = \frac{\omega + \omega'}{2\pi} = (N_1 + N_2)$ என்பது மிகுவோசை. முதன்மை ஒலிகள் உரப்பாக இல்லாவிடில், பகுவோசைகளும் மிகுவோசைகளும் மிகவும் வலிமை குறைந்து இருக்குமென்றும், கேட்கமுடியாதென்றும் ஹெல்ம்ஹோல்ட்ஸ் முடிவு கண்டார். பகுவோசையின் அதிர்வெண் எப்பொழுதுமே முதன்மையொலிகளின் அதிர்வெண்களை விடக் குறைவாக இருக்க வேண்டும்; மிகுவோசையின் அதிர்வெண் எப்பொழுதுமே முதன்மையொலிகளின் அதிர்வெண்களை விட அதிகமாக விருக்கும். எனவே, முதன்மையொலிகள், பகுவோசையைவிட மிகுவோசையை அதிகமாக மறைத்துவிடலாம். இதன் காரணமாகத்தான் பகுவோசை முதலிலும், மிகுவோசை நீண்ட காலங் கழித்தும் கண்டுபிடிக்கப்பட்டனவென்று கருதப் படுகிறது.

வாட்ஸ்மான் (Waetzmann) என்பவரும் கூட்டோசைகளுக்குத் தகுந்த விளக்கந் தந்துள்ளார். ஹெல்ம்ஹோல்ட்ஸ் கூறியது

போன்ற காது ஜவ்வின் அமைப்பைப் போன்ற செயற்கை ஜவ்வை வாட்ஸ்மான் உருவாக்கினர். அந்த ஜவ்வின் மையத்தில் ஒரு பக்கத்தில் மாத்திரம் ஓர் எடையை வைத்தார். அதனுல் ஜவ்வின் பண்பில் மாறுதல் ஏற்பட்டது. இயக்கப்பட்டால் பக்கவாட்டில் அசையும் பொழுது, ஒரு பக்கத்திலேற் படும் இடப்பெயர்ச்சி மறுபக்கத் திலேற்படும் இடப்பெயர்ச் சிக்குச் சமமாக இராது. இத்



படம் 65

தகைய ஜவ்வு சுயேச்சையாக அதிர்வுறும்பொழுது, நேரத்திற்கும் இடப்பெயர்ச்சிக்குமுள்ள வரைகோடு படம் 65 (a)-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. பிறகு இரண்டு இசைக் கவைகளை இயக்கி அவற்றின் ஒலிகளை ஜவ்வின்மீது படும்படி செய்தார். அப்பொழுது வரைபடத்தின் அமைப்பு படம் 65 (b)-ல் உள்ளது போல் மாறிற்று. இப் படம் விம்மலொலிகளின் படத்தைப் போன்ற தோற்றமளிக்கின்றது. ஆனுல், இந்த வரைகோட்டிற்குத் திருத்தும் குணம் (rectifying property) இருக்கின்றது; வரை படத்தின் பெருமம் ஒரு பக்கத்திற்குத் தள்ளப்பட்டுள்ளது. ஃபூரியரின் பகுப்பாய்வைப் பயன்படுத்தி வாட்ஸ்மான் கூட்டோசைகளைக் கண்டு பிடித்தார். இவற்றின் அதிர்வெண்கள்

$$N_1 = \frac{\omega}{2\pi},\ N_2 = \frac{\omega'}{2\pi} (N_1 \backsim N_2) = \frac{(\omega \backsim \omega')}{2\pi},\ (N_1 + N_2) = \frac{(\omega + \omega')}{2\pi}$$

என்று தெரிய வந்தன. இவைகள் முறையே முதன்மையொலிகள் பகுவோசை, மிகுவோசை முதலிய கூட்டோசைகளுக்கு ஒப்பாகின்றன. இதுபோலவேதான் நமது காதிலும் கூட்டோசைகள் புலனுகின்றனவென்றும் கண்டார். ஆனுல், ஹெல்ம்ஹோல்ட்ஸ் கூறியதுபோல் பகுவோசைகள் காதில் கேட்காத வகையில் எப்பொழுதுமே வலிவற்று இருப்பதில்லையென்றும், அவற்றை யெழுப்ப அதிகச் செறிவுடைய முதன்மையொலிகள் தேவையில்லையென்றும், பலஹீனமான முதன்மையொலிகளைக் கொண்டே பலமுள்ள பகுவோசைகளைக் கேட்க முடியுமென்றும் கண்டார். இவ்வாருக வாட்ஸ்மான் கூட்டோசைகளின் நிகழ்ச்சியைத் தெளிவாக்கி, விம்மலொலிக் கருத்தையும் செறிவுக் கருத்தையும் சேர்த்து ஒன்றுபடுத்தினர்.

6. இணக்க இசையும் பிணக்க இசையும் (Concord and discord) : குறிப்பிட்ட சில ஒலிகளை ஒரு சில ஒலிகளுடன் இணைத்தால் காதில் இனிய உணர்ச்சியேற்படும். அதே சில ஒலிகளுடன்

வேறு சில ஒலிகளை இணைத்தால், ஒருவித வெறுப்புணர்ச்சி தான் உண்டாகும். இனிய உணர்ச்சி யேற்படும்பொழுது இரண்டு ஒலிகளும் ஒத்துப்போகின்றன. அதனால் அவ்வுணர்ச்சிக்கு ஒத்திசை (concord) என்ற பெயர் ஏற்பட்டது. உணர்ச்சி வெறுப்பாக இருக்கும்பொழுது, இரண்டு ஒலிகளும் ஒத்துப்போவதில்லை. அதனால் அவ்வுணர்ச்சிக்கு ஒவ்வா இசை (discord) என்ற பெயர் ஏற்பட்டது. மீட்டப்பட்ட பல்வேறு நீளங்களுள்ள கம்பிகளிலிருந்து எழும் ஒலிகளை இணைக்கும்பொழுது, ஒத்திசையை உண்டுபண்ண முடியுமென்னும் உண்மையைப் பண்டைக்கால கிரேக்கர்களே அறிந்திருந்தார்கள்; ஆனால், இந்த நீளங்களெல்லாம் ஒரு குறிப்பிட்ட விகிதத்திலிருக்க வேண்டும். உதாரணமாக, மீட்டப்பட்ட கம்பியின் நீளங்கள் 1 : 2 : 3 என்ற எளிய விகிதத்திலிருந்தால் ஒத்திசையுண்டாகும்; அதற்கு மாறாகக் கம்பியின் நீளங்கள் 101 : 231 : 379 என்றது போன்ற சிக்கலான விகிதத்திலிருந்தால் ஒவ்வா இசை உண்டாகும். ஒத்திசையேற்பட கம்பிகளின் நீளங்கள் எதற்காக எளிய விகிதத்திலிருக்க வேண்டும்? இந்தக் கேள்வி 2000 ஆண்டுகளுக்கு முன்பே பித்தகோரஸ் (Pythegoras) என்ற பேரறிஞரால் கேட்கப்பட்டது. ஆனால், அதற்கு விடை 1862ஆம் ஆண்டில்தான் ஹெல்ம்ஹோல்ட்ஸால் தரப்பட்டது. இனிமையற்ற விம்மல்களால் தான் ஒவ்வா இசை ஏற்படுகிறதென்றும், இனிமையற்ற விம்மல்களை இரண்டு ஒலிகள் உண்டுபண்ணுவிட்டால் அப்பொழுது ஒத்திசையுண்டாகிறது என்றும் அவர் கூறினர். சில இடைவெளி நேரங்களில் விம்மல்களுண்டானல், அப்பொழுது வெறுப்புணர்ச்சியே உண்டாகும். ஒலியின் செறிவு பெரும நிலையிலிருக்கும்பொழுது காதிற்குக் களைப்பு ஏற்படுகின்றது. ஆகையால், ஒலியின் செறிவு சிறும நிலையிலிருக்கும்பொழுது கிடைக்கும் ஓய்வு மிகவும் வரவேற்கத்தக்கதாக இருக்கிறது. எனவே, இந்த ஓய்வு நேரத்தில் அடுத்த பெருமநிலைச் செறிவு ஒலி காதில் விழுந்தால் மிகவும் துன்பமாக இருக்கும். விம்மலெழுப்பும் இரு ஒலிகளில் ஒன்றின் அதிர்வெண் 300 ஆகவும் மற்றொன்றின் அதிர்வெண் 301-லிருந்து 308 வரையிலுமிருந்தால் விம்மல்கள் வெறுப்புண்டாக்குவதில்லையென்றும், மற்றொன்றின் அதிர்வெண் 333-க்கு மேலிருந்தாலும் விம்மல்கள் வெறுப்பாக இருப்பதில்லையென்றும், மற்றொன்றின் அதிர்வெண் 309-லிருந்து 332 வரையிலிருக்கும்பொழுது உண்டாகும் விம்மல்கள்தான் வெறுப்பையுண்டாக்குகின்றனவென்றும் ஹெல்ம்ஹோல்ட்ஸ் நிரூபித்துள்ளார். அதாவது விம்மல்களின் எண்ணிக்கை விநாடிக்கு 8-லிருந்து 33 வரையிருக்கும்பொழுதுதான் ஒவ்வா இசை எழும்புகிறதென்பது நன்றாக விளங்குகிறது.

ஒத்திசை, ஒவ்வா இசை இவை நிகழ்வதை ஒளியியலி லிருந்து ஒரு சிறந்த உதாரணத்தினால் நன்கு விளக்கலாம். கண்களுக்கும் ஒளிமிகு விளக்கு ஒன்றுக்குமிடையே, சில துவாரங் களேயுடைய வட்டவில்லையொன்றைச் சுற்றினால், வில்லையின் வேகம் குறைவாகவிருக்கும்பொழுது, விளக்கின் ஒளியை நாம் இரு முறை பார்ப்பதற்குள் பெரிய இடைவெளி நேரம் குறுக்கிடு கின்றது. இந்த இடைவெளியில் வெளிச்சமில்லா நிலைக்குக் கண்கள் பழகிக்கொள்கின்றன. எனவே, ஒளி திரும்பவும் வரும் பொழுது கண்கள் அதை அவ்வளவாக வரவேற்கமாட்டா. ஆனால், ஒளி மறுபடியும் மறைவதற்குள், வெளிச்சத்திலேயே யிருக்கக் கண்கள் பழகிக் கொள்கின்றன. மொத்தத்தில், கண் களுக்கேற்படும் உணர்ச்சி அவ்வளவு வெறுப்பாக இருப்பதில்லை. இது போலவே விம்மல்களுக்கிடையேயுள்ள நேரம் அதிகமாக இருக்கும்பொழுது காதுகளுக்குக் களைப்பேற்படுவதில்லை; வெறுப் புணர்ச்சியுமிருக்காது; ஒத்திசை கேட்கும்.

வில்லையின் வேகம் அதிகரித்துக் கொண்டே போனால் ஒரு கட்டத்தில் ஒளியின் மினுமினுப்பு கண்களுக்குத் தாங்க முடியாத உறுத்தலை யேற்படுத்துகிறது. கண்களுக்குக் களைப்பும் ஓய்வும் மாறி மாறி ஏற்படுகின்றன; களைப்பிற்குப் பிறகு வேண்டிய ஓய்வு கிடைப்பதில்லை. அதுபோலவே விம்மல்களின் எண்ணிக்கை அதிகரித்து ஒரு நிலையை அடையும்பொழுது, காதுகளுக்குத் தாங்க முடியாத களைப்பும் வெறுப்பும் ஏற்படுகின்றன. அப்பொழுது ஒவ்வாத இசை உண்டாகிற தென்கிறோம்.

ஆனால், வில்லையின் வேகம் ஓர் எல்லைக்குமேல் அதிகரித்தால் பார்வை நீடிப்பின் உதவியால் ஒளி தொடர்ந்து தெரிகின்றது, களைப்பு நின்றுவிடுகிறது. கண்களுக்கு உறுத்தலுமுண்டாவதில்லை. அதுபோலவே விம்மல்களின் எண்ணிக்கை அளவுக்குமேல் அதி கரித்தால், கேள்வி நீடிப்பின் உதவியால் ஒலி விம்மலோசையின் பண்பைப் பெறுகின்றது. காதிற்குக் களைப்போ உறுத்தலோ ஏற்படுவதில்லை. ஒத்திசை மறுபடியும் கேட்கின்றது.

இதனாற்றான் முன் கூறியபடி விம்மல்களின் எண்ணிக்கை 8-க்கும் கீழோ அல்லது 33-க்கு மேலோ இருந்தால் ஒத்திசையே கேட்கும். 8-க்கும் 33-க்குமிடையே யிருந்தால் ஒவ்வாத இசை கேட்கும்.

கேள்விகள்

1. இசையொலி என்றால் என்ன? இசையொலியின் செறிவு, சுருதி, பண்பு இவை எவற்றைப் பொறுத்திருக்கின்றன? விடையை உதாரணங்கள் மூலம் விளக்குக.

2. ஹெல்ம்ஹோல்ட்ஸின் ஒத்திசைவியை விவரித்து, அதைக் கொண்டு சீரிசைப் பகுப்பாய்வை எப்படி நடத்தலா மென்பதை விளக்குக.

3. மில்லர் ஃபோனுடைக் என்ற கருவியை விவரித்து, அதைக் கொண்டு ஒலியின் அலை உருவத்தை எவ்வாறு பதிவு செய்யலா மென்பதையும் விளக்குக.

4. எதிர் மின் கதிர் ஆஸிலோகிராஃப் கருவியை விவரிக்க. அது எப்படி இயங்குகிறதென்பதையும், ஒலி அலை உருவத்தைப் பதிவு செய்ய இக் கருவியை எப்படிப் பயன்படுத்தலாமென்பதையும் விவரிக்க.

5. கீழ்க்கண்டவற்றிற்குக் குறிப்புகள் எழுதுக.

(a) விம்மலோசைகள்

(b) பகுவோசை

(c) மிகுவோசை

(d) ஒத்திசையும் ஒவ்வா இசையும்

6. கூட்டோசைகள் என்பது பற்றி ஒரு கட்டுரை வரைக.

7. மிகுவோசைகள், பகுவோசைகள் என்றால் என்ன? அவற்றின் புற உணர்ச்சிப் பண்பையும், அதற்குக் கோனிக்கும், ஹெல்ம்ஹோல்ட்ஸும் கொடுத்துள்ள விளக்கங்களையும் தெளிவாக விவரிக்க.

8. கூட்டோசைகள் என்றால் என்ன? அவை யுண்டாவதை எப்படி விளக்கலாம்? எப்படி மெய்ப்பிக்கலாம்?

9. கூட்டோசைகள் என்றால் என்ன? விம்மல்களும் கூட்டோசைகளும் எப்படி வேறுபடுகின்றன?

10. கூட்டோசைகள் என்றால் என்ன? இவற்றிற்கு ஹெல்ம்ஹோல்ட்ஸும் வாட்ஸ்மனும் என்ன விளக்கங்கள் கொடுத்துள்ளார்கள்?

6. இசை யணிகளும் இசைக் கருவிகளும்

(Musical Scales and Musical Instruments)

ஒலியின் சுருதி, அதன் ஏற்றத்தாழ்வு, அதன் வேறுபாடு இவற்றால் காதில் ஏற்படும் இனிய உணர்ச்சி இவையெல்லாம் பொதுவாக இசையெனப்படும். இசைக்கு முக்கியமாகத் தேவைப் படும் குணங்கள் மூன்று வகைப்படும். அவையாவன: (1) லய இசை (rhythm), (2) ஒழுங்கு இசை (melody), (3) ஒருங்கு இசை (hormony). லய இசையெனப்படுவது ஒலிகளுக்கிடையே யுள்ள கால அளவைக் குறிக்கும். ஒழுங்கு இசையெனப்படுவது ஒலிகளை சுருதி ஏற்றத்தாழ்வுடன் தொடர்ந்து உச்சரிக்கும் பொழுது, அவற்றுக்குள்ளே யேற்படும் தொடர்பினால் உண்டாகும் இனிய உணர்ச்சியைக் குறிக்கும். ஒருங்கு இசை எனப்படுவது, பல ஒலிகளைச் சேர்ந்தாற்போல உச்சரிக்கும்போது ஏற்படும் இனிய உணர்ச்சியைக் குறிக்கும். மேனாட்டு இசையில் (western Music) ஒருங்கு இசையை முக்கியமாகக் கொண்டுள்ளார்கள். கர் நாடக இசையில் (cornatic music) ஒழுங்கு இசையே முக்கிய இடத் தைப் பெற்றிருக்கிறது. ஒழுங்கு இசையில் ஒலிகளின் சுருதியை மாற்றும் பொழுது தொடர்ந்து மாற்றாமல் படிப்படியாக முதலில் மேலே ஏற்றியும் பிறகு அதே மாதிரி படிப்படியாகக் கீழே இறக்கி யும் வருகிறோம். இம் முறையை மேளகர்த்தா என்கிறோம். மேல் நாட்டு இசையில் இதற்கு இசை அலகு (musical scale) அல்லது சுர வரிசை என்று பெயர். இந்த இசை அலகிலே ஆதார சுருதியி லிருந்து, மேல் சுரம் வரை 8 படிக்கட்டுகள் அல்லது சுர தானங் கள் உள்ளன. அவையாவன: 256, 288, 320, 341·3, 384, 426·7, 480, 512. இவற்றை c, d, e, f, g, A, B, C என்று மேனாட்டு இசை யிலும், ஸ, ரி, க, ம, ப, த, நி, ஸ என்று கர்நாடக இசையிலும் குறிப்பிடுகிறோம். ஒரு படிக்கட்டுக்கும், மற்றொரு படிக்கட்டுக்கு முள்ள இடைவெளியை, அதிக சுருதியுள்ள ஒலியின் அதிர்வெண் ணைக் குறைந்த சுருதியுள்ள ஒலியின் அதிர்வெண்ணால் வகுத்து

வரும் பின்னத்தால் குறிப்பிடுவது வழக்கம். உதாரணமாக c-யின் அதிர்வெண் 256. d-யின் அதிர்வெண் 288. இவற்றின் இடைவெளி $288 \div 256 = \frac{9}{8}$ ஆகும். இக் கணக்கின்படி மேல் சுரமாகிய 512-க்கும், ஆதார சுரமாகிய 256-க்கு முள்ள இடைவெளி 2. இந்த இடைவெளிக்கு எண்மம் (Octave) என்று பெயர்.

மேனாட்டு இசையில் பேரலகு (Major Scale), சிற்றலகு (Minor Scale) என்று இரண்டு மேளகர்த்தாக்களுண்டு. பேரலகு, கர்நாடக இசையில் சங்கராபரணத்தைப் போலிருக்கும். இவ் வலகிலுள்ள சுரதானங்களை ஸ ரி க ம ப த நி ஸ அல்லது c d e f g A B C என்று குறிப்பிடுகிறோம். 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 குறிப்பிட்டால், 1—2 இரண்டிற்குமுள்ள இடைவெளி ஸெகண்ட் (Second) என்றும்; 1—3 இரண்டிற்குமுள்ள இடைவெளி மேஜர் தேர்டு (Major Third) என்றும்; 1—4 இரண்டிற்குமுள்ள இடைவெளி ஃபோர்த் (Fourth) என்றும்; 1—5 இரண்டிற்குமுள்ள இடைவெளி ஃபிஃப்த் (fifth) என்றும்; 1—6 இரண்டிற்குமுள்ள இடைவெளி மேஜர் ஸிக்ஸ்த் (Major Sixth) என்றும்; 1—7 இரண்டிற்குமுள்ள இடைவெளி மேஜர் ஸெவென்த் (Major Seventh) என்றும்; 1—8 இரண்டிற்குமுள்ள இடைவெளி முன்கூறியதுபோல் எண்மம் என்றும் சொல்லப்படும். இந்த இடைவெளிகள் ஆதார சுருதியிலிருந்து ஒவ்வொரு சுருதிக்கும் உள்ள இடைவெளியைக் குறிக்கின்றன. அடுத்தடுத்துள்ள சுருதிகளுக்கிடையேயுள்ள இடைவெளிகளையும் கணக்கிடலாம். அவ்வாறு பார்த்தால் 1—2 இரண்டிற்குமுள்ள இடைவெளி $= \frac{9}{8}$; 2—3 இரண்டிற்குமுள்ள இடைவெளி $= \frac{10}{9}$; 3—4 இரண்டிற்குமுள்ள இடைவெளி $= \frac{16}{15}$; 4—5 இரண்டிற்குமுள்ள இடைவெளி $= \frac{9}{8}$; 5—6 இரண்டிற்குமுள்ள இடைவெளி $= \frac{10}{9}$; 6—7 இரண்டிற்குமுள்ள இடைவெளி $= \frac{9}{8}$; 7—8 இரண்டிற்குமுள்ள இடைவெளி $= \frac{16}{15}$. இவ்வாறு ஓர் அலகில் 7 இடைவெளிகளுள்ளன. $\frac{9}{8}$ என்ற இடைவெளிக்கு மேஜர் டோன் (Major Tone) என்றும், $\frac{10}{9}$ என்ற இடைவெளிக்கு மைனர் டோன் (Minor Tone) என்றும், $\frac{16}{15}$ என்ற இடை

வெளிக்கு ஸெமி டோன் (Semi Tone) என்றும் பெயர். இம் மூன்றில் பெரியது மேஜர் டோன். அடுத்தது மைனர் டோன். மிகவும் சிறியது ஸெமி டோன். சுர வரிசையில் மூன்று மேஜர் டோன்களும், இரண்டு மைனர் டோன்களும், இரண்டு ஸெமி டோன்களும் உள்ளன. பேரலகு என்பது இயற்கைப் பேரல கென்றும், டயட்டானிக் பேரலகு என்றும் அழைக்கப்படும். பேரலகின் குறிகளையும், சுருதிகளையும், இரண்டு வகை இடை வெளிகளையும் கீழேயுள்ள பட்டியலில் காணலாம்.

நெ.	1	2	3	4	5	6	7	8
குறி - மேல் நாட்டு இசை	doh	ray	me	fa	soh	lah	si	doh
குறி - கர்நாடக இசை	ஸ *c*	ரி *d*	க *e*	ம *f*	ப *g*	த *A*	நி *B*	ஸா *C*
சுருதி	256	288	320	341·3	384	426·7	480	512
அடுத்தடுத்த சுருதிகளின் விகிதம்		$\frac{9}{8}$	$\frac{10}{9}$	$\frac{16}{15}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{10}{9}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{16}{15}$
ஆதார சுரு திக்கு விகிதம்		$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	2

மேலே கொடுக்கப்பட்ட விகிதங்களல்லாமல் $\frac{6}{5}$ மேஜர் தேர்டு (Major Third), $\frac{8}{5}$ மைனர் ஸிக்ஸ்த் (Minor Sixth), $\frac{81}{83}$ கம்மா (Comma) என்ற விகிதங்களும் வருவதுண்டு. கம்மா என்ற விகிதம் உள்ள சுருதிகள் பொதுவாகக் காதில் விழுவ தில்லை. மற்ற விகிதங்களெல்லாம் காதிலும் விழும்; நன்றாகவும் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. இப்பொழுது 512ஐ ஆதார சுருதி யாகவும், 1024ஐ எண்ம சுருதியாகவும் கொண்டு, இடையி லுள்ள ஏனைய சுருதிகளையெல்லாம் எழுதிப் பார்த்தால், மேலே கொடுக்கப்பட்ட விகித வரிசை இங்கும் காணப்படும். டயட் டானிக் பேரலகைப் பயன்படுத்தி எந்த இசையை இயற்றினாலும்,

ஒவ்வோர் ஒலியும் ஆதார சுருதியுடன் அட்டவணையிற் குறிப்பிட்ட விகிதத்திலிருக்க வேண்டும்; அல்லது அந்த விகிதத்தின் முழு எண் மடியாக இருக்க வேண்டும்.

இதே மாதிரியாக மேனுட்டு இசையில் பயன்படுத்தப்படும் வேறோர் அலகில் அல்லது சுர வரிசையில் அதாவது சிற்றலகில் உள்ள சுருதிகள், 256, 273·1, 307·2, 341·3, 384, 409·6, 455·1, 512 என்பவையாகும். இந்த மேளத்திலும் 8 சுருதிகள் உள்ளன. சில சுருதிகளின் இடங்கள் டயட்டானிக் பேரலகின் இடங்களிலிருந்து சற்று விலகியிருப்பதைக் காணலாம். ஆதார சுருதி, மைய சுருதி, ஐந்தாவது சுருதி, எண்ம சுருதி இவையெல்லாம் பேரலகுக்கு உள்ளது போலவே இங்கும் அதே இடத்திலுள்ளன; ஆகையால், அவை மூல சுருதியுடன் பழைய விகிதங்களையே அமைக்கும். ஆனல், இரண்டாவது, மூன்ருவது, ஆருவது, ஏழாவது சுருதிகள் இடமாறியிருக்கின்றன. ஆகவே, அவை ஆதார சுருதியுடன் ஏற்படுத்தும் விகிதங்களும் மாறவேண்டும். அதன்படி 1—2 இரண்டிற்குமுள்ள இடைவெளி $\frac{16}{15}$ மைனர் ஸெகண்ட் என்றும், 1—3 இரண்டிற்குமுள்ள இடைவெளி $\frac{6}{5}$ மைனர் தேர்டு என்றும், 1—6 இரண்டிற்குமுள்ள இடைவெளி $\frac{8}{5}$ மைனர் ஸிக்ஸ்த் என்றும், 1—7 இரண்டிற்குமுள்ள இடைவெளி $\frac{16}{9}$ மைனர்

நெ.	1	2	3	4	5	6	7	8
குறி - மேல் நாட்டு இசை	doh	ray	me	fa	soh	lah	si	doh
குறி - கர்நாடக இசை	ஸ *c*	ரி *d*	க *e*	ம *f*	ப *g*	த *A*	நி *B*	ஸா *C*
சுருதி	256	273·1	307·2	341·3	384	409·6	455·1	512
ஆதார சுருதிக்கு விகிதம்	—	$\frac{16}{15}$	$\frac{6}{5}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{8}{5}$	$\frac{16}{9}$	2

ஸெவென்த் என்றும் அழைக்கப்படுகின்றன. மூல சுருதியின் துடிப்பு எண் முன்போலவே 256 என்றால், சிற்றலகிலுள்ள ஒலிகளின் இடங்களை முன்னுள்ள அட்டவணையில் காணலாம்.

மேல் நாட்டு இசையில் டயட்டானிக் சுர வரிசை முழுதும் பயன்படுத்தப்படுகிறது. முன்னர் கூறப்பட்ட இயற்கை சுர வரிசை இதில் ஒரு பகுதிதான். ஆதார சுருதி ஏதாயிருந்த போதிலும் ஓர் இசையின் சுருதி விகிதங்கள் பயன்படுத்தப்படும் அலகிலிருந்துதான் எடுக்கப்பட வேண்டும். இருந்தபோதிலும், குறிப்பிட்ட சில பண்புகளை உண்டாக்க இந்த விகிதங்களிலிருந்து சற்று விலகுவதும் உண்டு.

இயற்கை அலகின் ஒலிகளையெழுப்ப ஒவ்வோர் இசைக் கருவியிலும் ஏற்பாடு இருக்க வேண்டும். சில கருவிகளால் ஒரு முழு வரிசைக்கு மேற்பட்ட ஒலிகளை யெழுப்ப முடியலாம், ஆனால், C-க்கு மேல் ஓர் எண்மமும், C-க்குக் கீழ் ஓர் எண்மமும் ஒலிகளை எழுப்ப முடிய வேண்டும். மனிதக் குரலால் இரண்டு எண்மங்களுக்கு மேற்பட்ட ஒலிகளை யெழுப்ப முடியும். இவை பொதுவாக 256-லிருந்து 512 வரையிலுள்ள ஒலிகளையும் 128-லிருந்து 256 வரையிலுள்ள ஒலிகளில் மேற்பாதியையும், 512-லிருந்து 1012 வரையிலுள்ள ஒலிகளில் கீழ்ப்பாதியையும் (மத்திய ஒலி, மந்தர ஒலி, தார ஒலி) கொண்டதாக இருக்கும்.

கர்நாடக இசையில் முன் கூறியதுபோல், 7 சுரங்கள் உள்ளன. அவையாவன : ஸ, ரி, க, ம, ப, த, நி. இவற்றிற்குப் பிறகு அடுத்த எண்மத்தின் முதல் சுரமாகிய ஸா என்பதும் இவற்றுடன் சேர்ந்து கொள்ளும். இக் குறிகள் முறையே ஷட்ஜ, ரிஷப, காந்தார, மத்தியம, பஞ்சம, தைவத, நிஷாத முதலிய சுரங்களைக் குறிக்கின்றன. இவற்றில் ப, ஸ இரண்டும் $\frac{3}{2}$ என்ற விகிதத்திலுள்ளன; மாறாதவை; நன்றாக ஒத்திசையக் (concord) கூடியவை. இவற்றிற்குப் பிரக்ருதி (Prakruti) சுரங்கள் என்று பெயர். ஏனைய ஐந்து சுரங்களும் விக்ருதி சுரங்கள் (Vikruti Swaras) எனப்படும். சிறிது மாற்றங்களை இவை அனுமதிக்கும்.

பன்னிரண்டு சுரக் கருத்துப்படி, இந்த ஏழு சுரங்களையும் 13 வகை சுரங்களாகக் கருதலாம். ஸ-வில் ஒரு வகையும், ரி-யில் சுத்த ரிஷப, ச்சதுஸ்ருதி ரிஷப, ஷட் சுருதி என்ற மூன்று வகையும், க-வில் சுத்த காந்தார, சாதாரண காந்தார, அந்தர காந்தார என்ற மூன்று வகையும், ம-வில் சுத்த மத்தியமா, ப்ரதி மத்தியமா என்ற இரண்டு வகையும், ப-வில் ஒரு வகையும், த-வில் சுத்த தைவத, ச்சதுஸ்ருதி தைவத, ஷட்ஸ்ருதி தைவத என்ற

மூன்று வகையும், நி-யில் சுத்த நிஷாத, கைஸிகி நிஷாத, ககாலி நிஷாத என்ற மூன்று வகையும் ஆக மொத்தம் 16 வகை சுரங்கள் உள்ளன. ஆனால், இவற்றுள் சில சுரங்கள் தட்டையாகவும், சில கூர்மையாகவும் இணைந்து விடுகின்றன. உதாரணமாக, ச்சதுஸ்ருதி ரிஷபமும், சுத்த காந்தாரமும் ஒன்றாக இணைகின்றன; ஷட்ஸ்ருதி ரிஷபமும், சாதாரண காந்தாரமும் தட்டையாக இணைகின்றன; ச்சதுஸ்ருதி தைவதமும். சுத்த நிஷாதமும் ஒன்றுகின்றன; ஷட்ஸ்ருதி தைவதமும், கைஸிகி நிஷாதமும் கூர்மையாக இணைகின்றன. எனவே, மேலே குறிப்பிட்ட 8 சுரங்களும் நான்கு சுரங்களாக இணைகின்றன. ஷட்ஜம், சுத்த ரிஷபம், அந்தர காந்தாரம், சுத்த மத்யமம், ப்ரதி மத்யமம், பஞ்சமம், சுத்த தைவதம், ககாலி நிஷாதம் ஆகிய 8 சுரங்களும் தனித்து நிற்கின்றன. ஆகையால், 16 சுரங்களும் 12 சுரங்களாக மாறுகின்றன. இந்தக் கருத்துக்குத்தான் 12 சுருதிக் கருத்து என்று பெயர். இந்த 12 சுருதிகளில் எண்ம சுருதி சேர்க்கப்படவில்லை. 12 சுருதிகளும் கீழே தரப்பட்டுள்ளன.

நெ.	குறி	குறி	குணம்	பெயர்	
1	ஸ	c	—	ஷட்ஜம்	1
2	ரி	d	—	ச்சதுஸ்ருதி ரிஷபம்	3
3	ரி	d	—	சுத்த காந்தாரம்	3
4	ரி	d(f)	தட்டை	சுத்த ரிஷபம்	2
5	க	e(f)	தட்டை	ஷட்ஸ்ருதி ரிஷபம்	4
6	க	e(f)	தட்டை	சாதாரண காந்தாரம்	4
7	க	e	—	அந்தர காந்தாரம்	5
8	ம	f	—	சுத்த மத்யமம்	6
9	ம	f(f)	தட்டை	ப்ரதி மத்யமம்	7
10	ப	g	—	பஞ்சமம்	8
11	த	A	—	ச்சதுஸ்ருதி தைவதம்	10
12	த	A	—	சுத்த நிஷாதம்	10
13	த	A(f)	தட்டை	சுத்த தைவதம்	9
14	த	A(s)	கூர்மை	கைஸிகி நிஷாதம்	11
15	த	A(s)	கூர்மை	ஷட்ஸ்ருதி தைவதம்	11
16	நி	B	—	ககாலி நிஷாதம்	12

கர்நாடக இசையின் நுண்ணிய கருத்துகள் நமது பாட எல்லேக்கு அப்பாற்பட்டதாகையால், இவற்றைக் குறிப்பாகக் காட்டிவிட்டு மேலே செல்லலாம். மேற்கூறிய 12 சுரங்களையும் எண்மத்திற் காணலாம். எந்த ஒரு ராகத்தின் அலகையும், விக்ருதி சுரமொன்றுடன், ப்ரக்ருதி சுரங்களையும் சேர்த்து அமைக்கலாம். அமைக்கப்பட்ட அலகுக்கு மேளம் அல்லது மேள கர்த்தா என்று பெயர். இதே கொள்கையைப் பின்பற்றி இதர மேள கர்த்தாக்களையும் அமைக்க முடியும். இவை 72 இசை அலகுகளாக அமையும். இவற்றிற்கு மூல (Parent) அலகு களென்றும், மேளகர்த்தா அலகுகளென்றும் பெயர். 12 கர்நாடக இசை அலகுகளில் 1, 3, 5, 6, 8, 10, 12 சுருதிகளையும் சேர்த்தால் *c, d, e, f, g, A, B* என்றும் ஸ, ரி, க, ம, ப, த, நி என்றும் பொருந்தும். முதற் கூறப்பட்டது மேனுட்டு இசையின் டயட்டானிக் பேரலகுகளாகும். இரண்டாவது கூறப்பட்டது கர்நாடக இசையின் சங்கராபரணமாகும். இந்திய இசையில் சுரங்களுடன் கமகங்களையும் (Gamakas) சேர்த்து இழைப்பது வழக்கம்.

இனிய விம்மல்கள் அல்லது வெறுப்புத் தரும் விம்மல்கள் உருவாகும்பொழுது ஒத்திசை அல்லது ஒவ்வாத இசை நிகழ்கின்றது. ஒரு சில அதிர்வெண் விகிதமுள்ள ஒலிகள் எழும் பொழுது ஒத்திசையும், வேறு சில அதிர்வெண் விகிதமுள்ள ஒலிகள் எழும்பொழுது ஒவ்வா இசையும் உண்டாகுமென்று ஹெல்ம்ஹோல்ட்ஸ் கூறியுள்ளாரென்பது தெரிந்த உண்மை டயட்டானிக் சுர வரிசையில் ஸ-ம என்ற சுருதிகள் ஒலிக்கப்படும் பொழுதும், ஸ-ப என்ற சுருதிகள் ஒலிக்கப்படும்பொழுதும், ஒத்திசை யெழுகிறது. அதேபோல் ஸ-ரி என்ற சுருதிகளும், ஸ-நி என்ற சுருதிகளும் ஒலிக்கப்படும்பொழுது ஒவ்வாத இசை யெழுகிறது. ஆகையால் $\frac{4}{3}$, $\frac{3}{2}$ என்பவை ஒத்திசை இடைவெளிகள்; $\frac{9}{8}$, $\frac{15}{8}$ என்பவை ஒவ்வா இசை இடைவெளிகள்.

சுருதிகளை ஒழுங்குபடுத்துவதற்காகப் பாடகர்கள் தம்பூரா போன்ற ஒத்து ஊதும் கருவிகளைப் பயன்படுத்துவதைக் காண்கிறோம். இக் கருவிகள் பொதுவாக மேற்கூறிய ஒத்திசை இடைவெளிகளுள்ள சுருதிகளைத்தான் கிளப்பும். உதாரணமாக, ஸ-ம

(ஷட்ஜ-மத்யம) சுருதிகளையாவது, ஸ-ப (ஷட்ஜ-பஞ்சம) சுருதிகளையாவது ஒலிப்பதுண்டு. ஒத்திசைக்கும் விம்மல்களைக் கிளப்பும் இச் சுருதிகள் இசையின் கவர்ச்சியைப் பெரிதும் உயர்த்துகின்றன. மேலும் ஸ-ரி (ஷட்ஜ-ரிஷப) சுருதிகளும், ஸ-நி(ஷட்ஜ-நிஷாத)சுருதிகளும் ஒவ்வாத இசைகளை யெழுப்புவதால், இவை சேர்ந்து ஒலிக்கக்கூடாதென்பதுமில்லை. உண்மையில் ஒவ்வா இசைகூட சில சமயங்களில் இனிய ஒலிகளை எழுப்பப் பயன்படுத்தப்படுவதுண்டு.

சுதி மட்டுப்பாடு : டயட்டானிக் சுர வரிசையில் உள்ள சுதிகள் 256 (*c*), 288 (*d*), 320 (*e*), 341·3 (*f*), 384 (*g*), 426·7 (*A*), 480 (*B*), 512 (*C*) என்றும், அடுத்தடுத்துள்ள சுதிகளின் இடைவெளிகள் வரிசையாக மேஜர் டோன் $\frac{9}{8}$, மைனர் டோன் $\frac{10}{9}$, ஸெமி டோன் $\frac{16}{15}$, மேஜர் டோன் $\frac{9}{8}$, மைனர் டோன் $\frac{10}{9}$, மேஜர் டோன் $\frac{9}{8}$, ஸெமி டோன் $\frac{16}{15}$ என்றும் நமக்குத் தெரியும். எல்லா இடைவெளிகளும் சமமதிப்புடையவையல்லாத காரணத்தால், டயட்டானிக் பெரும் சுரவரிசையின் முழுத் தொடரையும் கடக்கவேண்டுமாயின், வரிசையின் முதற்சுதியாகிய 256 (*c*)-ல் ஆரம்பித்தே ஆகவேண்டும். இது அவ்வளவு விரும்பத்தக்கதன்று. ஏனெனில், ஒவ்வொரு பாடகரின் ஆரம்ப சுதியும் அவரவரின் திறமையைப் பொறுத்திருக்க வேண்டும். அவருக்கு 256ஐ ஆரம்ப சுருதியாக வைத்து ஆரம்பிக்க முடிந்தால் மிகவும் நன்று. அன்றி 288 ஐ ஆரம்ப சுருதியாகக் கொண்டு ஆரம்பிப்பது அவருக்குச் சௌகரியமாக இருந்தால், வரிசையாக 288, 320, 341·3, 384, 426·7, 480, 512 முதலிய சுரங்களைத்தான் அவரால் எழுப்பக் கூடும். இவற்றின் இடைவெளிகள் முறையே $\frac{10}{9}$, $\frac{16}{15}$, $\frac{9}{8}$, $\frac{10}{9}$, $\frac{9}{8}$, $\frac{16}{15}$ என்ற வரிசையில் இருக்கும். டயட்டானிக் சுரவரிசையில் முதல் இடைவெளி $\frac{9}{8}$; மேற்கூறியதில் முதல் இடைவெளி $\frac{10}{9}$. அதுபோலவே பாடகரின் சுருதிகளின் ஒவ்வோர் இடைவெளியும் டயட்டானிக் சுரவரிசையின் ஒவ்வோர் இடைவெளியினின்றும் மாறுபட்டிருக்கும். சுருங்கக் கூறின், 256 என்னும் சுரத்திலிருந்து

ஆரம்பித்தாலொழிய அவரால் முழு டயட்டானிக் சுதி வரிசையைக் கடக்க முடியாது. ஆகவே, ஒவ்வொரு பாடகரும், எந்த சுருதியிலிருந்து அவர் ஆரம்பித்தாலும், டயட்டானிக் சுர வரிசையில் பாட வேண்டுமாயின், சுரவரிசையின் இடைவெளிகள் மாறியிருக்க வேண்டும்.

டயட்டானிக் சுரங்களினிடையே வேறு சுரங்களைப் புகுத்தி, இடைவெளிகளைச் சமமாக்கி, மேஜர் டோனையோ, மைனர் டோனையோ, ஸெமி டோனையோ விருப்பப்படி பாட வசதி செய்துகொள்வது பாடகருக்குச் சௌகரியமாக இருக்கும். இவ்வாறு வசதி செய்யப்பட்ட சுரவரிசையைச் சம சுதி சுரவரிசை (tempered scale) எனலாம். இடைவெளிகளெல்லாம் சமமாக இருப்பதால், இதைச் சரிசம சுதி சுர வரிசை எனவும் அழைக்கலாம் (equally tempered scale).

ஒரு செமி டோனின் மதிப்பு $= \frac{16}{15} = 1{\cdot}067$; இரண்டு செமி டோன்களின் மதிப்பு $= 1{\cdot}067 \times 1{\cdot}067 = 1{\cdot}138$. ஒரு மேஜர் டோனின் மதிப்பு $= \frac{9}{8} = 1{\cdot}125$. கிட்டத்தட்ட இது இரண்டு செமி டோன்களின் மதிப்புக்குச் சமமாகும். இது போலவே ஒரு மைனர் டோனின் மதிப்பு $= \frac{10}{9} = 1{\cdot}111$. இதுவும் கிட்டத்தட்ட இரண்டு செமிடோன்களின் மதிப்புக்குச் சமமாகும். ஒரு முழு டயட்டானிக் சுரவரிசையில், 3 மேஜர் டோன்களும், 2 மைனர் டோன்களும், 2 செமி டோன்களுமிருப்பதால், இவையெல்லாம் சேர்ந்து 12 செமி டோன்களுக்குச் சமமெனலாம். ஆதார சுருதி, இறுதி சுருதி இவற்றின் விகிதத்தை ஓர் எண்மமாகவே இருத்திக்கொண்டு, இவற்றிற்குள்ள இடைவெளியை 12 சம பாகங்களாகப் பிரித்தால், ஒவ்வொரு சம பாகமும் கிட்டத்தட்ட ஒரு செமிடோனுக்குச் சரியாக இருக்கும். ஒவ்வொரு சமபாகத்தின் மதிப்பும் $\sqrt[12]{2} = 1{\cdot}059$ என்று ஆகும். இது கிட்டத்தட்ட ஒரு செமி டோனின் மதிப்புக்குச் (1·067) சமமாக இருப்பதைக் கவனிக்கலாம், ஆகையால், ஆதார சுருதியை $c = 256$ என்றும், ஒவ்வோர் இடைவெளியையும் $x = 1{\cdot}059$ என்றும் வைத்துக்கொண்டால், சரிசம சுதி சுர வரிசையை அடுத்த பக்கத்திற் கண்டவாறு எழுதலாம்.

டயட்டானிக் சுர வரிசை	c		d		e	f		g		A		B	C
	256		288		320	341·3		384		426·7		480	512
சரிசம சுருதி சுர வரிசை	c	cx	cx^2	cx^3	cx^4	cx^5	cx^6	cx^7	cx^8	cx^9	cx^{10}	cx^{11}	cx^{12}
	c	c*	d	d*	e	f	f*	g	g*	A	A*	B	C
	256	271·1	287·1	304·2	322·2	341·2	361·4	383·1	405·7	429·5	455·2	482·1	510·9
இரண்டு சுர வரிசைகளுக்குமுள்ள வேறுபாடு	0	—	0·9	—	2·2	0·1	—	0·9	—	2·8	—	2·1	1·1

ஓர் இசைக் கருவியில் சரிசம சுதி சுர வரிசைக்குள்ள சுரக் கட்டைகள் (Keys) அமைக்கப்பட்டிருந்தால், எந்தக் கட்டையில் வேண்டுமானாலும் ஆரம்பிக்கலாம்; எந்த இடைவெளியையும் வேண்டியபடி பெறலாம். மேஜர் டோனோ அல்லது மைனர் டோனோ வேண்டுமாயின், இரண்டு கட்டைகளைத் தாண்டிச் செல்ல வேண்டும். ஒரு செமி டோன் வேண்டுமாயின் ஒரே ஒரு கட்டை தான் மாற வேண்டும். ஒருவரால் ஆதார சுருதியில் ஆரம்பிக்க முடியுமென்றால், c-என்ற கட்டையில் ஆரம்பித்து, *d*, *e*, *f*, *g*, A, B, C என்ற கட்டைகளுக்கு முறையே மாறி டயட்டானிக் சுரவரிசை யில் இசையெழுப்பலாம். அவருக்கு 384 என்ற சுரத்தில் ஆரம் பிக்கும் திறமையும் விருப்பமும் இருந்தால், *g* என்ற கட்டையில் ஆரம்பித்து, *A*, *B*, *C*, *c**, *d**, *f*, *f** என்ற கட்டைகளுக்கு முறையே மாறி இப்பொழுதும் டயட்டானிக் சுரவரிசையில் இசையெழுப்ப லாம். ஆகையால், எந்தக் கட்டையில் வேண்டுமானாலும் ஆரம் பித்து, டயட்டானிக் சுர வரிசையில் பாடலைப் பாட இயலும்.

சரிசம சுதி சுர வரிசையிலும் சில குறைகள் இருக்கின்றன. மேஜர் டோனோ அல்லது மைனர் டோனோ ஒரு செமி டோனுக்கு முற்றிலும் சமமாக இல்லை. ஆகையால், ஆரம்ப சுருதியைத் (256) தவிர, சரிசம சுதியின் சுரவரிசையில் எந்த சுருதியும் டயட்டானிக் சுரவரிசையில் எந்த சுருதிக்கும் இருப்பதில்லை. மேலும் $\sqrt[12]{2}$-ன் மதிப்பைச் சுமாராகத்தான் கண்டுபிடிக்க முடியுமே தவிர முற்றிலும் சரியாகக் கணக்கிட முடியாது. எண்ம சுருதிகூட சரியாயிருப்பதில்லை. டயட்டானிக் சுரவரிசையில் எண்மத்தின் மதிப்பு 512. ஆனால், சரிசம சுதி சுரவரிசையிலோ எண்மத்தின் மதிப்பு 510·9. இவற்றிற்குள்ள வேறுபாடு 1·1 ஆகும். இதுவும், ஏனைய வேறுபாடுகளும் மேற்கண்ட அட்டவணை யில் விளக்கமாகப் புலப்படும். இந்த வேறுபாடுகளின் காரண மாகச் சரிசம சுதி சுரவரிசையில் இசைக் கருவிகளிலோ, குரலோசை யிலோ பாடல்கள் பாடப்படும்பொழுது பல ஒலிகளும் இணையா மல், ஒவ்வா இசையே உண்டாகும். மற்ற வசதிகளுக்காக இந்தக் குறைகளைப் பொறுத்துக்கொள்ளத்தான் வேண்டும்.

கர்நாடக இசை முறையில், எண்மத்தை விலக்கி, 12 சுரங் களிருப்பதைக் கண்டோம். சரிசம சுதி சுரவரிசை முறையால் மேனாட்டிசையிலும் எண்மத்தைத் தவிர்த்து 12 சுரங்களிருப்பதை யும் காண்கிறோம். ஆகவே, இவ்விரண்டு முறைகளும் ஒரு விதத் தில் ஒன்றென்றே கூறலாம். கர்நாடக இசை முறையிலும் இசைக் கருவிகளின் கட்டைகளைச் சரிவர அமைத்து, பாடுபவர் எந்த சுருதியையும் அவரது ஆரம்ப சுருதியாக வைத்துக்கொள்ளுமாறு செய்து கொள்ளலாம்.

லாகரித்மிக் சதவீதம் (Logarithmic cent): ஒரு சுருதியை, வேறொரு சுருதியால் வகுத்து வரும் பின்னத்தைக் குறிக்க இது வரை இடைவெளி அல்லது விகிதம் என்ற பதத்தை உபயோகித்து வந்தோம். இப் பதங்கள் சில சமயங்களில் சௌகரியமற்றுக் காண்கின்றன. உதாரணமாக N_1, N_2, N_3 என்ற மூன்று சுருதிகளை ஒப்பிடவேண்டுமென்று வைத்துக் கொள்வோம்.

விகித முறைப்படி

$$\frac{N}{N_1} = a$$

$$\frac{N_3}{N_2} = b$$

$$\frac{N_3}{N_1} = c$$

$$\therefore \quad c = \frac{N_3}{N_1} = \frac{N_3}{N_2} \times \frac{N_2}{N_1} = b \cdot a.$$

$$\therefore \quad c = ab.$$

$N_3 - N_1$ இவற்றின் விகிதத்தை, $N_2 = N_1$, $N_3 - N_2$ இவற்றின் விகிதங்களின் பெருக்குத் தொகையாகக் கணக்கிடவேண்டியுள்ளது. பெருக்குத் தொகையாக இருப்பதைவிடக் கூட்டுத் தொகையாக இருந்தால் நலமாக இருக்குமென்று கருதப்பட்டது. எனவே, விகிதத்தைப் பயன்படுத்துவதற்குப் பதிலாக, விகிதத்தின் லாகரிதத்தைப் பயன்படுத்தலாமென்று எல்லிஸ் (Ellis) என்பவர் புதிய யோசனையொன்றைக் கூறினர். அதன்படி $N_1 - N_2$ இவற்றிற்குள்ள இடைவெளி 'a' யை,

$a = k \log \left(\frac{N_2}{N_1}\right)$ என்று எழுதலாம். k என்பது நமது சௌகரியப்படி வைத்துக் கொள்ளக்கூடிய ஓர் எண்.

$$\therefore \quad a = k(\log N_2 - \log N_1)$$

அதுபோலவே, $b = k(\log N_3 - \log N_2)$

$$c = k(\log N_3 - \log N_1)$$

$$= k[\log N_3 - \log N_1 + \log N_2 - \log N_2]$$

$$= k(\log N_2 - \log N_1) + k(\log N_3 - \log N_2)$$

$$= (a+b)$$

k-யின் மதிப்பை எல்லிஸ் நிர்மாணித்தார். அதுதான் ஒரு சதம் (cent). சதத்தின் 1200 மடங்கு ஓர் எண்மத்திற்குச் சமமென்று வைத்துக் கொண்டார். அதன்படி,

$$1200 = k \cdot \log 2$$

$$\text{அல்லது,}\quad k = \frac{1200}{\log 2}$$

$$= \frac{1200}{0{\cdot}3010}$$

$$= 3987.$$

இசைக் கருவிகள்: ஒலியியலில் இசைக் கருவிகளை விவரிப்பது முறையேயாயினும், இசைக் கலைஞர்கள் எதிர்பார்க்கும் வகையில் அவற்றை இங்கு விளக்க முடியாது. வேண்டிய சுரவரிசையில் ஒலிகளையெழுப்பி காதுக்கினிய இசையை உண்டாக்குவதுதான் இசைக் கருவிகளின் முக்கிய நோக்கம். இவற்றில் பல விதங் களிருக்கின்றன. இவற்றிற் சில நம்மிடம் வெகு காலமாக வழங்கி வருகின்றன. உதாரணமாக, புல்லாங்குழல் (Flute), வீணை, தம்பூரா, மிருதங்கம் முதலிய கருவிகள் எவ்வளவு பழமை யானவை என்பதைப் பண்டைய நூல்களிலிருந்து தெரிந்து கொள்ளுகிறோம். வெள்ளையர் காலத்தில் அவர்களது பிடில், ஆர்மோனியம் முதலிய கருவிகள் நம்நாட்டிற்கு வந்தன.

இசைக் கருவிகளுக்கு இன்றியமையாத தேவைகள் மூன்று: (1) இயக்கி (exciter)—இயக்கிதான் ஒலியெழுப்ப வேண்டும். (2) அதிரும் பாகம் (vibrating system). (3) கையாளப்படும் இயந்திர நுட்பம் (Manipulative mechanism)—இதைப் பயன் படுத்தித்தான் சுதி வரிசையின் ஒலிகளை யெழுப்பவேண்டும். மேலும் ஒலியின் ஆற்றலை அதிகப்படுத்துவதற்குக் காற்றுத் தம்பங் களையாவது ஒலிப்பெட்டிகளையாவது உபயோகிப்பது வழக்கம்.

ஓர் இசைக் கருவியிலிருந்து மற்றொரு கருவியை அடை யாளங் கண்டுபிடிக்கச் சில தனிப் பண்புகள் உள்ளன. அவை யாவன: (1) அதிர்வெண்களின் நெடுக்கம் (range) அல்லது கருவியின் வரம்பு (compass). (2) கருவியின் சுரவரிசை. (3) எழுப் பப்படும் ஒலிகளின் நயம் (delicacy). (4) ஒலிகளின் ஆரம்பத் திலும் முடிவிலும் எழும் கூச்சல்கள் (noises). (5) ஒலியியங்கும் பொழுது உண்டாகும் தவிர்க்க முடியாத செறிவு மாற்றங்கள் (changes of intensity). (6) ஒலிகளின் குணங்கள்—இவை கருவி யின் வடிவத்தையும், ஒலியை இயக்கும் முறையையும் பொறுத்

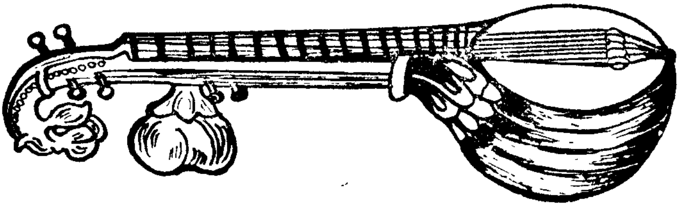
திருக்கின்றன. (7) ஒரு சுதியை யெழுப்புவதற்கோ அல்லது ஓரே சமயத்தில் சுதிகளை யெழுப்புவதற்கோ கருவிக்குள்ள திறமை—ஒரு சுதி எழுப்பப்பட்டால் இசையில் ஒழுங்கும் (melody), பல சுருதிகள் எழுப்பப்பட்டால் ஒலியில் ஒருங்கும் (harmony) நிலவும்.

மேற்கூறிய தனிப்பண்புகளைக் கொண்டு இசைக் கருவிகளை (1) நரம்புக் கருவிகள் (stringed instruments), (2) துளைக் கருவிகள் (wind instruments), (3) தோற்கருவிகள் (percussion instruments) என்று மூன்று வகையாகப் பிரிக்கலாம். நரம்பு அல்லது கம்பிக் கருவிகளை, வீணையைப் போன்ற மீட்டப்படும் (plucked) நரம்புக் கருவி, பியானேவைப் (Piano) போன்ற தட்டப்படும் (struck) நரம்புக் கருவி, வயலின் (Violin) போன்ற வில்லதிர்க்கப்படும் (bowed) நரம்புக் கருவி என்று மேலும் மூன்று பிரிவுகளாகப் பிரிக்கலாம். துளைக் கருவிகளை, காற்றூதப்படும் (wind blown) கருவி, நாதஸ்வரம் போன்ற நறுக்கு ஊதப்படும் (reed-blown) கருவி என்று இரண்டு பிரிவுகளாகப் பிரிக்கலாம். மிருதங்கம் தோற்கருவிக்குச் சிறந்த உதாரணமாகும். இனி ஒவ்வொரு பிரிவுக்கும் ஓர் இசைக் கருவியாகச் சிலவற்றை இங்கு விளக்கலாம்.

வீணை: மாமரத்தாலோ அல்லது கருப்பு மரத்தாலோ செய்யப்பட்ட அரைக் கோள வடிவமுள்ள குடமொன்றும், காய்ந்து கூடான சிறிய சுரக் குடுக்கையொன்றும், நீண்ட கூடான தண்டு ஒன்றினுல் இணைக்கப்பட்டுள்ளன. தண்டும் குடமும் சேருமிடத்திற்கு வீணையின் கழுத்து என்று பெயர். கழுத்திலிருந்து குடுக்கை வரையில் தண்டின் குறுக்களவு சிறுத்துக்கொண்டே போகிறது. அதன் மறுமுனையில் யாளி முகமொன்று இணைக்கப் பட்டிருக்கிறது. குடமும் குடுக்கையும் ஒத்திசைவிகளாக மட்டுமல்லாமல் வீணைக்கு ஆதாரமாகவும் உதவுகின்றன. குடத்தின் மேற்பாகம் சுமார் 1 அடி விட்டமுள்ள பலகையால் மூடப் பட்டுள்ளது. தண்டின் மேற்புறமும் மரத்தாலேயே மூடப் பட்டுள்ளது. இதற்குத் தண்டிப் பலகை எனப் பெயர். குடத்தின் ஒரு முனையில் ஒரு மூளை பொருத்தப்பட்டுள்ளது. சற்றுத் தள்ளி குடத்தின் மேல் ஒரு குதிரை (Bridge) இருக்கிறது. இது மேற்புறத்தில் தட்டையாகவும் பக்கத்தில் வளைவாகவும் இருக்கும். இக் குதிரைக்குச் சமீபத்தில் இரு வட்டங்களைச் சுற்றிப் பலகையில் சிறு சிறு துவாரங்கள் இடப்பட்டுள்ளன. அவற்றின் மூலமாகத்தான் குடத்திலிருக்கும் காற்றுக்கும் வெளிக் காற்றுக்கும் தொடர்பு ஏற்படுத்தப்படுகிறது. தண்டிப் பலகையின்மேல் இறுகிய மெழுகைப் பதித்து அதன்மேல் 24 பித்தளைத் துண்டுகள் பொருத்-

தப்பட்டுள்ளன. இவற்றிற்கு மெட்டுகள் (frets) என்று பெயர். யாளிக் கழுத்தின் இரு புறத்திலும் நான்கு முளைகள் (திருகு) அமைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. மேலும் தண்டின் பக்கத்தில் குடுக்கைக்கு அருகில் மூன்று முளைகள் (திருகு) உள்ளன. குடத்தின் முனையிலுள்ள முளையில் 7 கம்பிகள் கட்டப்பட்டுள்ளன. இவற்றுள் இரண்டு கம்பிகள் பித்தளையாலும், மற்ற 5 கம்பிகளும் எஃகாலும் செய்யப்பட்டவை. இரண்டு பித்தளைக் கம்பிகளும் இரண்டு எஃகு கம்பிகளும் தட்டைக் குதிரை, 24 மெட்டுகள் இவற்றின்மேல் செலுத்தப்பட்டு மறுமுனையில் நான்கு முளைகளின்மேல் சுற்றப்பட்டுள்ளன. இந்த முளைகளை இயக்கிக் கம்பிகளின் பிகுவை ஏற்றவும் இறக்கவும் முடியும். குடத்தின் முனையிலுள்ள முளைக்கும் குதிரைக்கும் இடையே ஒவ்வொரு கம்பியிலும் உள்ள சிறிய வளையத்தை நகர்த்திக் கம்பிகளின் பிகுவை நுண்ணிய முறையில் மாற்றவும் முடியும். எஞ்சியுள்ள மூன்று நரம்புகளும் பக்க வாட்டிலுள்ள வளை குதிரையின் வழியாகச் செலுத்தப்பட்டுக் குடுக்கைக்கருகிலுள்ள மூன்று முளைகளில் சுற்றப்பட்டுள்ளன. இம் முளைகளை முடுக்கிக் கம்பிகளின் பிகுவை மாற்றிக்கொள்ள முடியும்.

வீணையில், இயக்கி வலது கை விரல்கள். அதிரும் பொருள்கள் அதிலுள்ள நரம்புகள். இயந்திர நுட்பங்கள் 24 மெட்டுகள். குடுக்கை, தண்டு, குடம் முதலியவற்றிலுள்ள காற்று இசையின் ஆற்றலைப் பெருக்குகின்றது.



படம் 66

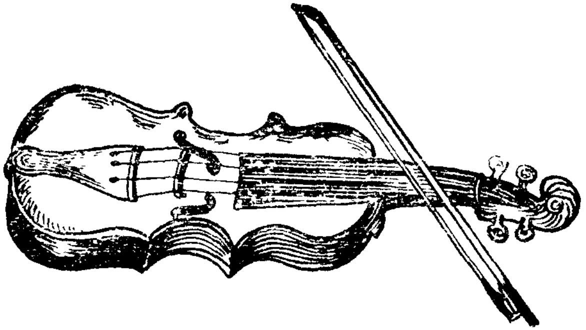
குதிரைக்கும் கழுத்திற்குமிடையே வலது கை விரல்களால் மீட்டப்பட்டுக் கம்பிகள் அதிர்வுறுகின்றன. மெட்டுகளுக்கிடையே இடது கை விரல்களால் கம்பிகளை அழுத்தி அவற்றின் நீளத்தையும் பிகுவையும் வேண்டிய அளவு மாற்றி, சுர வரிசையின் எந்தச் சுரத்தை வேண்டுமானாலும் எழுப்பலாம். பக்கவாட்டிலுள்ள மூன்று கம்பிகளையும் வலது கை சிறு விரலால் மீட்டி, வீணையெழுப்பும் சுரவரிசைகளில் மைய சுரவரிசையின் ஆதார சுதி,

பஞ்சமம், எண்மம் என்னும் ஒலிகளை எழுப்பலாம். இக் கம்பிகள் எழுப்பப்படும் இசைக்கு ஒத்தாகவும் (drone), தாளமாகவும் (time-beat)அமைகின்றன.

இரண்டு மெட்டுகளுக்கிடையேயுள்ள இடைவெளி ஒரு ஸெமி டோனுக்குச் சமமாகவுள்ளது: ராகத்தின் சுர வரிசையை அனுசரிக்கவும் அதன் அழகைப் பெருக்கவும் குறிப்பிட்ட மெட்டு களில் பாடகர் சுரத்தை அதிகரிப்பதுண்டு: மெட்டுள்ள இடத்தில் தந்தியை அழுத்தி குறுக்கு வாட்டாக இழுத்துப் பிகுவையும் சுருதி யையும் பெருக்கி கமகப் பிரயோகம் செய்ய வேண்டும்:

வீணையின் இசையில் செழிப்பு அதிகமில்லாவிடினும், இனிமை அதிகமிருக்கும். இதற்கு முக்கிய காரணம், கம்பி மீட்டப்படும் இடம் அதன் நீளத்தின் ஏழிலொரு பங்கு தூரத்திலுள்ளது. அதனால் ஏழாவது எண்மம் தவிர்க்கப்படுகிறது. ஏழாவது எண்மந் தான் வெறுப்புத் தரக்கூடிய ஒலி. அது தடைப் பட்டுவிடுவதால் இசையில் இனிமை ததும்புகிறது. மேலும் குடம், குடுக்கை முதலியன செம்மையாக ஒத்திசைக்கின்றன. அரைக் கோள வடிவமுள்ள குடம் எழுப்பும் பேரொலி இசையின் இனிமையை அதிகரிக்கின்றது.

வயலின் (Violin): வயலின் என்பது வில்லதிர்க்கப்படும் ஒரு நரம்பிசைக் கருவியாகும். இதன் முக்கிய பாகம் நீண்ட தட்டை யான ஒத்திசைவியாகும். ஒத்திசைவியின் ஒரு முனையில் இரண்டு



படம் 67

எபொனைட் கால்கள் பிணைக்கப்பட்டுள்ளன. கால்களின்மேல் நீண்ட குறுகிய எபொனைட் தகடொன்று பொருத்தப்பட்டிருக் கிறது. தகட்டின் மூன்றிலொரு பாகம் ஒத்திசைவியின் மேற் பகுதியில் ஒட்டிக்கொண்டிருக்கிறது; ஏனைய பாகம் அதற்கு

வெளியே நீட்டிக் கொண்டிருக்கிறது. இரண்டு கால்களின் முனையில், வீணைக்கிருப்பதுபோல், அழகான யாளி முகமொன்று இணைக்கப்பட்டுள்ளது. ஒத்திசைவியின் ஒரு முனையில் ஓர் எபொனைட் தகடு பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. அடுத்த முனையில் யாளி முகத்திற்கருகில் எபொனைட் கால்களின் இரு பக்கங்களிலும் நான்கு முளைகளிருக்கின்றன. கிட்டத்தட்ட ஒத்திசைவியின் மையத்தில் மரக் குதிரையொன்றும் அதன் இரு மருங்கிலும் இரண்டு துவாரங்களுமிருக்கின்றன. நான்கு நரம்புகளை எபொனைட் தகட்டில் கட்டி, மரக் குதிரைமேல் செலுத்தி, அடுத்த முனையில் நான்கு முளைகளிலும் சுற்றியிருக்கிறது. முளைகளைச் சுற்றிக் கம்பிகளின் பிகுவை வேண்டியபடி மாற்றிக் கொள்ள முடியும்.

கம்பிகளை வில்லதிர்க்க ஒரு வில் உபயோகப்படுத்தப்படுகிறது. வில்லின் ஒரு நுனியிலிருந்து மற்றொரு நுனிக்கு அநேக குதிரை முடிகள் நீளவாட்டத்தில் கட்டப்பட்டிருக்கின்றன. வில்லின் கீழ்ப்பாகத்தில் ஒரு திருகு இருக்கின்றது. அதைத் திருகி குதிரை முடிகளைப் பிகுவாக இழுத்துக் கொள்ளலாம். ரோஸனத் தூளில் வில்லைத் தேய்த்துப் பிறகு நரம்புகளின்மேல் இழுக்க வேண்டும்.

இக் கருவியில் மேலே விளக்கப்பட்ட வில்தான் இயக்கியாகச் செயல்படுகிறது. நான்கு நரம்புகளும் அதிரும் பொருள்களாகும். இடது கை விரல்கள் எபொனைட் தகட்டில் நரம்புகளை அமுக்குவது இயந்திர நுட்பமாகும். தட்டையான ஒத்திசைவியிலுள்ள காற்று இசையின் ஆற்றலைப் பெருக்குகிறது.

வில்லால் கம்பிகளை இழுத்து அவற்றில் துடிப்பை ஏற்படுத்த வேண்டும். இத் துடிப்பு, கம்பியிலிருந்து, குதிரை, பெட்டியின் வயிறு, அதன் கீழ்ப்பக்கம், பெட்டியிலுள்ள காற்று இவற்றின் வழியே வெளிக் காற்றிற்குப் பரவுகிறது. எனவே, இசையின் குணம் மேற்கூறிய வயலின் பல பாகங்களின் அமைப்புகளைப் பொறுத்திருக்கிறது. கருவியைச் செய்ய உபயோகப்படுத்தப்பட்டுள்ள மரத்தையும், அழகிடச் செய்ய உபயோகப்படுத்தப்பட்டுள்ள வார்னிஷையுங்கூடப் பொறுத்திருக்கும் இசையின் பண்பு. வில்லால் இழுக்குமிடத்தை மாற்றுவதாலும், இழுக்கும் தடத்தை மாற்றுவதாலும், இழுக்கும்போது அமுக்கத்தை மாற்றுவதாலும் இசையின் பண்பை வெகுவாக மாற்றலாமென்றும் கூறப்படுகிறது.

மியூட் (mute) என்னும் தகட்டைக் குதிரையின் மேல் அமைத்து இசையெழுப்புவதும் உண்டு. அப்பொழுது கம்பிகளின் துடிப்பு வீச்சுக் குறைகின்றது. அதனுல் ஒலியின் செறிவும் மிகவும் குறையும். மேலும் இக் கருவியில் உல்ஃப் நோட் (wolt-note) என்ற ஒலி ஏற்படும்பொழுது காதைத் துளைக்கும்படியான ஓசை கிளம்பும்; கருவியின் உடல் பூராவும் அப்பொழுது நடுங்கும். ஆனல், அந்த ஒலி வரும்பொழுது வில்லை மீட்டுவதே முடியாத காரியமாகத் தோன்றும். இவ்வொலியெழும்பும் காரணத்திற்கு ஸர் ஸி. வி. ராமன் தகுந்த விளக்கந் தந்திருக்கிருர்.

இக் கருவியில்கூட ஏழாவது எண்மம் மிகவும் பலஹீனமாக விருப்பதால் இசையின் இனிமை பாதிக்கப்படுவதில்லையென்றும், இனிமை தரும மேல்சுரங்களாகிய தேர்டு, ஃபோர்த், ஃபிஃப்த் முதலியன ஓங்கி நிற்கின்றனவென்றும் ஹெல்ம்ஹோல்ட்ஸ் காண்பித்துள்ளார். இவ்விசைக் கருவியில் வீணையிலுள்ள எல்லா நயங்களுமிருக்கின்றன. மேலும் இதிலெழுப்பப்படும் ஒலிகளை யெல்லாம் விருப்பப்படி கட்டுப்படுத்தலாம். எனவே, நம் நாட்டிலும் சரி, மேலை நாட்டிலும் சரி வயலினுக்குச் சிறந்த மதிப்புண்டு.

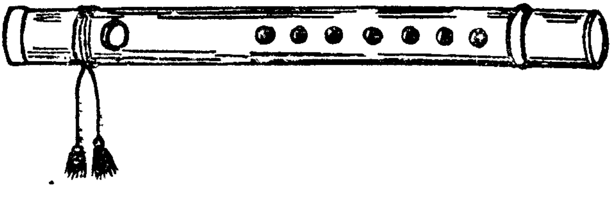
பியானே (Piano): பியானே என்பது ஒரு மேனுட்டு இசைக் கருவி; தட்டப்படும் நரம்பிசைக் கருவியின் வகையைச் சேர்ந்தது. இதில் பல கனங்களாலான, பல பொருள்களாலான, பல நீளங் களுள்ள கம்பிகள் ஒரு பெரிய எஃகு சட்டத்தில் இழுத்துக் கட்டப்பட்டுள்ளன. பல குதிரைகளினுதவியால் இக் கம்பிகள் ஓர் ஒலிப்பலகையுடன் (sounding board) இணைக்கப்பட்டுள்ளன. சுமார் 7½ கட்டைகள் அளவுவரை 88 சுரங்களை இக் கருவியால் எழுப்ப முடியும். மேல் 5 கட்டைகளுக்கு ஒவ்வொரு சுருதிக்கும் மூன்று நரம்புகள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. எல்லா நரம்பு களும் ஒரே சமயத்தில் ஒரே சுருதியில் இயக்கப்படும். கீழே யுள்ள கட்டைக்கு ஒவ்வொரு சுருதிக்கும் இரண்டு நரம்புகளுண்டு. மேலும் கீழே சென்ருல் ஒவ்வொரு சுருதிக்கும் ஒரு நரம்பு உண்டு.

நரம்புகளில் அதிர்வுண்டாக்கப் பல சுத்தியல்கள் இருக் கின்றன. ஒவ்வொரு சுத்தியலும் மெதுவான ஃபெல்ட் துணி யாலும் மூடப்பட்டிருக்கும். அதனுல் சுத்தியல் நரம்பைத் தாக்கும்பொழுது தாக்குதல் முரட்டுத் தனமாக இருக்காது. ஒவ்வொரு சுத்தியலும் ஒரு விசையின் மூலம் ஒரு சாவியுடன்

இணைக்கப்பட்டுள்ளது. ஒவ்வொரு சாவியையும் அழுத்தும் பொழுது அதனுடைய சுத்தியல் நகர்ந்து குறிப்பிட்ட நரம்பைத் தட்டும். நரம்பு இயக்கப்படும். சாவிகளைக் கைவிரல்களால் அழுத்துவதுதான் இக் கருவியின் இயந்திர நுட்பம்.

முன்கூறியதுபோல் பியானோவில் 7½ கட்டைவரை இசையெழுப்பலாம். ஓர் எண்மத்திற்குப் பன்னிரண்டு இடைவெளிகளுள்ள சரிசம சுதி சுரவரிசை ஒலிகள்தான் எழுப்பப்படுகின்றன. ஆனால், எழும் ஒலி நீண்ட நேரம் நிலவ அனுமதிக்கப்படுவதில்லை. மூன்று மிதி பலகைகளை மிதித்து அவற்றுடன் இணைக்கப்பட்டிருக்கும் சிறிய திண்டு (pad) களினால் எழுப்பப்படும் ஒலி விரைவில் தணிக்கப்படுகிறது. ஒரு திண்டு எல்லா நரம்புகளின் ஒலியைக் குறைக்கும்; ஒரு திண்டு கீழ்ச் சுரங்களை யெழுப்பும் நரம்புகளின் ஒலியைத் தணிக்கும்; மூன்றாவது திண்டு சுத்தியல் தாக்கும் நீளத்தைக் குறைத்து வெளிவரும் ஒலியைக் குறைக்கும். இந்த மூன்றாவது திண்டை இயக்கும் மிதிபலகைக்கு மெதுவான மிதிபலகை (soft pedal) என்று பெயர். இதை இயக்கினால் தணிந்த குரல் அல்லது கம்மிய குரல் குணமுள்ள ஒலியெழும்பும்.

புல்லாங்குழல் (Flute): புல்லாங்குழல் காற்றூது இசைக் கருவியின் வகையைச் சேர்ந்தது. இது உருளை வடிவமுள்ள மூங்கிற்குழாயினாலானது; ஒரு நுனியில் மூடப்பட்டிருக்கும். அந்த நுனியினருகே பக்கவாட்டில் ஒரு சிறிய துளையிருக்கிறது. இதற்கு வாய்த் துவாரம் என்று பெயர். இதற்குச் சற்று தூரந் தள்ளிப் பல துளைகளுள்ளன. இவற்றிற்கு விரல் துவாரங்கள் என்று பெயர். இவையெல்லாமே ஒரே அளவுள்ளனவாயும் ஆனால் ஊது துவாரத்திற்குச் சற்று சிறியதாயும் இருக்கும்.

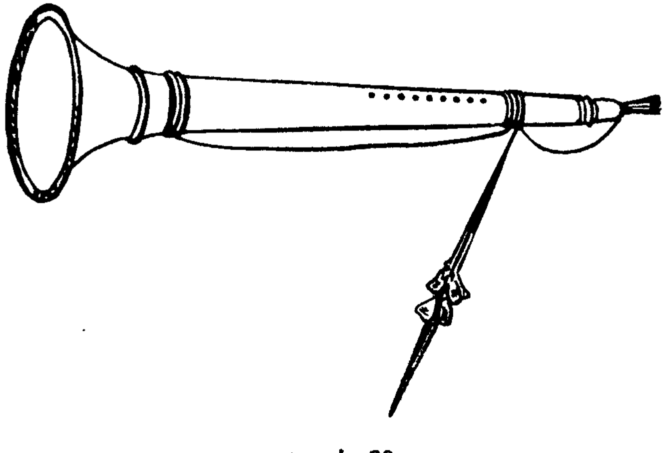


படம் 68

ஊது துளை வழியே நாம் செலுத்தும் காற்றுப் படலந் தான் இவ்விசைக் கருவியில் இயக்கியாகச் செயல்படுகின்றது. குழாயில் உள்ள காற்று மண்டலம் அதிரும்பொருளாக அமைந்துள்ளது. விரல் துளைகள்தான் இயந்திர நுட்பமாகும்.

குழலோசையெழுப்ப இசைக்கருவியைக் கிடைமட்டமாக வாயிற்குக் கீழே கட்டை விரல்களால் பிடித்துக்கொள்ள வேண்டும். வலது கையின் முதல் மூன்று விரல்களும் இடது கையின் நான்கு விரல்களும் ஏழு விரல் துளைகளின்மீது பதிந்திருக்க வேண்டும். ஊது துளையைக் கீழுதட்டிற்கு நேராக வைத்துக் கொண்டு ஈரல்களிலிருந்து வரும் காற்றைத் துளையின் விளிம்பில் மோதும்படி ஊத வேண்டும். இக் காற்று குழலின் உள்ளும் புறமுமாக அசையும். அதனுல் காற்றில் துடிப்பு ஏற்பட்டு, அந்த அதிர்ச்சியைக் குழாயிலிருக்கும் காற்று அதிகப்படுத்தி வெளிக் காற்றில் அலைகள் உண்டாகி, புல்லாங்குழலிலிருந்து இசையுண்டாகிறது. விரல் துளைகளை விரல்களால் மூடித் திறப்பதால் சுரவரிசையின்படி ஒலிகள் கிளம்புகின்றன. குழலின் ஓசையும், மனிதக் குரலைப்போன்று, $2\frac{1}{2}$ கட்டைவரை இசையெழுப்பும். மில்லரின் ஆய்வுப்படி குழல் எழுப்பும் மேல்சுரங்களின் எண்ணிக்கை மிகக் குறைவு; அவற்றின் செறிவும் பலமற்றுள்ளது. ஒலியின் உரப்பெல்லாம் பெரும்பாலும் ஆதார சுருதியையே சாரும்; மேல்சுரங்களில் சற்று ஓங்கி நிற்பது எண்மம் மாத்திரம்தான்.

நாதஸ்வரம் (Nathaswaram–Reed blown): நாதஸ்வரம் மிகவும் புகழ்பெற்ற ஒரு தென்னிந்திய இசைக் கருவியாகும். இது சுமார் $2\frac{1}{2}$ அடி நீளமுள்ள மரத்தாலோ மூங்கிலாலோ செய்யப்



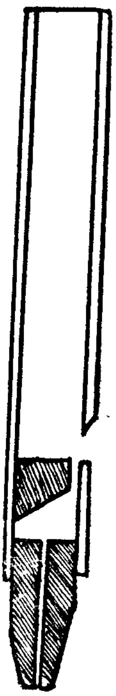
படம் 69

பட்ட ஒரு குழாயாகும்; ஒரு நுனி குறுகியும் மறுநுனி புனலைப் போன்று அகன்றுமிருக்கும். குறுகிய நுனியில் ஒரு ஜோடி தட்டையான குழலிகள் (reeds) பொருத்தப்பட்டுள்ளன. குழலிகளுக்கிடையே ஒரு சிறு துவாரம் இருக்கும். குழாயில் பக்க

வாட்டில் 12 துளைகளிருக்கின்றன. நாதஸ்வரக் குழாயின் குறுகிய நுனியின் அருகிலிருந்து ஏழு துளைகள் ஓர் நேர்கோட்டில் அமைந்துள்ளன. இவைதான் விரல் துளைகள். புனலின் அருகில் ஐந்து துளைகள் உள்ளன.

குழலிகள்தான் அதிர்வுகளை இயக்குகின்றன. காற்றை நறுக்குகளின் துளையின் வழியே செலுத்தினல் அவை அடிக்கடி திறந்து மூடுகின்றன. அப்பொழுது நறுக்கோசை (reed tone) உண்டாகிறது. குழாயிலுள்ள காற்றுத் தம்பமும் அதிர்வுறுகிறது. இவ்விரண்டு அதிர்வுகளும் இணைகின்றன. ஆனல், குழாயிலுள்ள காற்றுத் தம்பத்தின் அதிர்வுதான் ஓங்கி நிற்கும். ஆகையால், எழும் ஓசையின் சுருதி காற்றுத் தம்பத்தின் சுருதியையே தழுவி நிற்கும். ஆகையால், குழாயிலுள்ள காற்றுத் தம்பமே முக்கியமான அதிரும் பொருளென்று வைத்துக்கொள்ளலாம். விரல் துளைகள்தான் இயந்திர நுட்பமாக விளங்குகின்றன.

குழலிகளை உதடுகளுக்கிடையில் வைத்துக்கொண்டு காற்றை நறுக்குத் துளையின் வழியே ஊதவேண்டும். விரல் துளைகளை மூடியும் திறந்தும், ஊதும் வேகத்தை மாற்றியும் இசையை யெழுப்ப வேண்டும். கீழேயுள்ள 5 துளைகளும் இசையின் சுருதிகளை எண்மத்தின் மையத்திலிருத்திக்கொள்ளப் பயன்படுகின்றன. எழுப்பப்படும் இசை வளமாகவும் இதமாகவும் இருக்கும். பல மேல்சுரங்கள் எழும்புகின்றன. அவற்றில் இரண்டாவது, மூன்றுவது எண்மங்கள் பொதுவாக ஆதார சுருதியைவிட பலமுள்ளதாக இருக்கின்றன. இக் கருவியில் 3 கட்டைவரை இசையெழுப்ப முடியும். கடைசி விரல் துளையிலிருந்து, புனலின் திறந்த நுனிவரையில் கருவியின் குழாய் ஒரு கொம்புபோல் செயல்படுகிறது. அதனல் ஒலியின் செறிவு அதிகரித்து, இசை. நீண்ட தூரம் கேட்கின்றது.



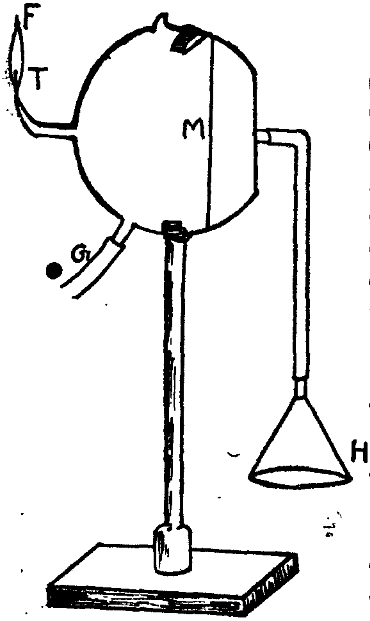
படம் 70

ஆர்கன் குழாய் (organ pipe) : காற்றூதும் இசைக் கருவிகளை விளக்கும்பொழுது, ஆர்கன் குழாயையும் கவனிக்க வேண்டியது அவசியமாகிறது. ஆர்கன் குழாய் என்பது மரத்தாலானல் செவ்வகக் குறுக்களவுடனும், உலோகத்தாலானல் வட்டக் குறுக்களவுடனுமுள்ள ஒரு நீண்ட குழாயாகும். இதன் மேல் நுனி திறந்தோ அல்லது மூடியோ இருக்கலாம். இதன் கீழ் நுனியில் குறுகியதோர் ஊது துளையுள்ள சிறிய பெட்டியொன்று இணைக்கப்

பட்டுள்ளது. இப் பெட்டிக்கு மேலேயும் குழாயின் கீழ்ப்பக்கத்திலும் ஒரு துவாரம் இருக்கிறது. இந்தத் துவாரத்திற்கு வாய் (Mouth) என்று பெயர். வாய்க்குமேல் குழாயின் சுவர் இழைக்கப் பெற்றுச் சரிவாக இருக்கிறது.

ஊது துளையின் வழியே காற்றை ஊதினல், அக்காற்று பெட்டிக்குவந்து, பெட்டியிலிருந்து சிறு துளை மூலமாகச் சென்று சரிவோரத்தில் (Bevelled edge) மோதிக் கூர்மையான படலமாகப் பிரிகின்றது. குழாயில் அடர்த்தியேற்படும்பொழுது, இப்படலமும் காற்றுடனே குழாய்க்குள் நுழைந்து அழுத்தத்தை மேலும் அதிகரிக்கிறது. குழாயில் (Rarefaction) தளர்த்தியேற்படும்பொழுது இப் படலம் காற்றுடன் வெளியெ பாய்ந்து அழுத்தத்தைக் குறைக்கிறது. இந்தக் காற்றுப் படலம் மாறி மாறி உள்ளேயும் வெளியேயும் பாய்வதால் அது ஒரு சீரிசை இயக்கத்திற்கு உள்ளாகிறது. இதனுல்தான் குழாயினுள் அடர்த்தி ஏற்படும் பொழுது அழுத்தம் ஏறுகிறது; தளர்த்தியேற்படும்பொழுது அழுத்தம் இறங்குகின்றது. இதனுல் ஒலி தொடர்ந்து எழுப்பிக் கொண்டேயிருக்கிறது. இவ் விளக்கத்தைச் சோதனையின்மூலம் நன்ருக நிருபிக்கலாம். இச் சோதனைக்குத் தேவையான கருவியொன்றை விவரிப்போம்.

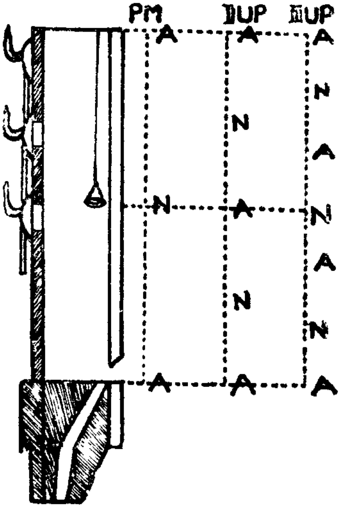
இக் கருவிக்கு அழுத்த வேறுபாட்டுச் சுடர் (Manometric flame) அல்லது அழுத்த வேறுபாட்டு மென்தோல் கூடம் (Manometric capsule) என்று பெயர். கிட்டத்தட்ட ஒரு முழுக் கோள வடிவமுள்ள அறையை இழுக்கப்பட்ட ஜவ்வு ஒன்று இரு பாகங்களாகப் பிரிக்கிறது. வலது பக்கமுள்ள பாகம் ரப்பர்க் குழாயினுல் ஒரு புனல் H (Funnel) உடன் இணைக்கப் பெற்றுள்ளது. இடது பாகம் T-யென்ற ஒரு வளைந்த குழாயுடனும், G-யென்ற கரிவாயு வழங்கும் மற்ருெரு குழாயுடனும், சேர்க்கப்பட்டுள்ளது: F என்ற சுடர் எரிந்து கொண்டிருக்கிறது. புனலின் வாயருகில் ஒலியெழுப்பினுல், அவ்வொலி புனல் வழியாகச் சென்று ஜவ்வின் மீது படிகிறது. இதனுலேற்படும் அழுத்தமாற்றத்தால் ஜவ்வு அதிர்



படம் 71

வுறுகிறது. அறையின் இடது புறத்திலும் இம் மாற்றமேற்பட்டுச் சுடர் துடிக்கிறது. ஒரு சுழலாடியினுதவியால் (rotating mirror) சுடரின் துடிப்பைக் கணக்கிடலாம். ஆகையால், சுடரின் துடிப்பிலிருந்து அறையிலேற்படும் காற்றின் அழுத்த மாற்றத்தையும் அறிய முடியும்.

படம் 71-ல் கண்டுள்ளபடி, ஆர்கன் குழாயின் பல இடங்களில் சுடர் விளக்கு பொருத்தப்பட்டுள்ளது. குழாயிலிருக்கும் காற்றையும், சுடர் விளக்கின் அறையிலுள்ள கரிவாயுவையும் ஜவ்வு தடுத்துப் பிரிக்கிறது. திறந்த குழாயாக இருந்தால், திறந்த நுனியும் குழாயின் வாயும் எதிர்க்கணுக்களை ஒத்திருக்கின்றன வென்பது சுடரின் அமைதியிலிருந்து நன்கு விளங்கும். குழாய் தனது ஆதார சுருதியை ஒலிக்கும்பொழுது குழாயின் மையம் ஒரு கணுவை ஒத்திருக்கும்.



படம் 72

சற்று வேகமாக ஊதினால் இரண்டாவது மேல் சுரம் (II UP) ஆதிக்கமடைகிறது. அப்பொழுது கணுக்களும் எதிர்க்கணுக்களும் இரண்டாவது பத்தியிலிருப்பதுபோல் அமைகின்றன. இதுபோலவே மூன்றாவது, நான்காவது மேல் சுரங்களையும் கண்டுபிடிக்கலாம். திறந்த குழாயில் முன்னர் கூறியதுபோல் ஒன்று விடாமல் எல்லா மேல் சுரங்களும் ஒலிக்கின்றன.

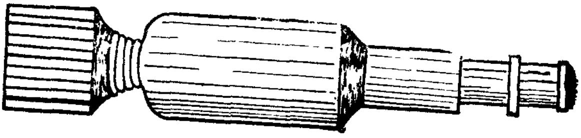
ஆனால், ஒரு பக்கம் மூடிய குழாயில் மூடப்பட்டிருக்கும் நுனி எப்பொழுதுமே கணுவாகத்தானிருக்கும். குழாயின் வாய் முன்போல எதிர்க்கணுவை ஒத்திருக்கும். வேகமாக ஊதினால் மூன்றாவது, ஐந்தாவது முதலிய ஒற்றைப்படை மேல் சுரங்கள் மாத்திரம் ஆதிக்கமடைகின்றன. இரட்டைப் படை மேல் சுரங்களைக் காண முடியாது. எனவே, மூடிய குழாயில் ஒற்றைப்படை மேல் சுரங்கள் மாத்திரம்தான் எழுகின்றன.

ஆகையால், திறந்த குழாயில் எழும் ஓசைகள், மூடிய குழாயில் எழும் ஓசைகளைவிட வளமாகவும் இனிமையாகவும் இருக்கும். மேலும் ஒரே நீளமுள்ள ஒரு திறந்த குழாயையும்

ஒரு மூடிய குழாயையும் பயன்படுத்தி, ஓசைகள் எழுப்பினுல் திறந்த குழாயின் ஆதார சுருதி, மூடிய குழாயின் ஆதார சுருதியைவிட இரண்டு மடங்கா யிருக்குமென்பதை முன்னமே கண்டோம்.

இப்பொழுது விளக்கப்பட்ட உண்மைகள் குறுகிய ஆர்கன் குழாய்களுக்கே பொருந்தும். அகன்ற குழாய்களில் எழும் மேல் சுரங்களின் வரிசை, ஒழுங்கு இசை சுரவரிசையினின்றும் மாறு பட்டிருக்கும். அதனுல் ஆதார சுருதியும் மேல் சுரங்களும் ஒருங் கிசைக்க மாட்டா. எனவே, அகன்ற குழாய்களின் வழியே வரும் ஒலிகள் மிருதுவாவும் இனிமையாகவும் இருக்கும். ஆனுல், குறுகிய குழாய்களில் ஒருங்கிசைக்காத மேல் சுரங்கள் மிகவும் கூர்மையாக இருக்கும்; சுலபமாகவும் கண்டுபிடித்துவிடலாம்.

காால்ட்டன் ஊதல் (Galton's whistle): கால்ட்டன் ஊதல் ஒரு சிறிய ஆர்கன் குழாயைப் போன்றிருப்பதால், அதை இங்கு விவரிப்பது மிகவும் பொருத்தமாக இருக்கும். கால்ட்டன் ஊதல் ஒரு குட்டையான, உலோகத்தாலான, உருளை வடிவமுள்ள குழாய்; ஒரு பக்கம் மூடப்பட்டது. மறுபக்கத்தில் ஒரு திருகு

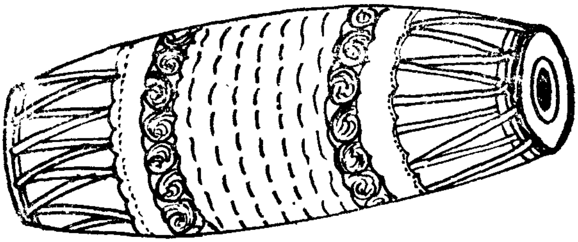


படம் 73

தண்டும் (screw piston) அதனுடன் ஒரு மைக்ரோ மீட்டரும் (micrometer) இணைக்கப்பட்டுள்ளன. திருகை இயக்கி ஆர்கன் குழாயின் நீளத்தை மாற்ற முடியும். மைக்ரோ மீட்டரின் பதிவிலிருந்து, குழாயிலிருந்து எழும் ஒலியின் சுருதியை அறிந்து கொள்ளலாம். ஒருகற்றைக் காற்றை ஊதலினுள் அனுப்பினுல் ஒலியெழும்பும். அவ்வொலியின் சுருதியையும் கண்டுகொள்ள லாம். திருகை இயக்கி வேண்டிய சுருதியுடைய ஒலியையும் எழுப்ப முடியும். காதுகளுக்குக் கேட்கும் (audibility) வரம்பு மீறிய ஒலிகளை யெழுப்ப கால்ட்டன் ஊதல் பெரிதும் பயன் படுகிறது. கால்ட்டன் ஊதலிலிருந்து வரும் ஒலிகளை உணர்வுச் சுடர் விளக்குகளைக் கொண்டும் கண்டுபிடிக்க முடியும்.

மிருதங்கம் (தோற்கருவி—Percussion instrument): மிருதங் கத்தைப் போன்ற தோற்கருவிகளை இசைக்கருவிகள் என்று கூறு வது அவ்வளவு பொருத்தமாகாது. இருந்தபோதிலும், இசைக்குப் பெரிதும் உதவுவதால், அவை இசைக்கருவிகளுடன் சேர்த்துக்

கொள்ளப்படுகின்றன. முக்கியமாகத் தாளம் போடுவதற்குத்தான் அவை பயன்படுகின்றன. மிருதங்கம் பீப்பாய் வடிவமுள்ள ஒரு கூடு. இதன் நீளம் சுமார் 2 அடி இருக்கும்; மையத்தின் சுற்றளவு சுமார் 3 அடி இருக்கும். இரு நுனிகளிலும் சற்றுக் குறுகியிருக்கும். இரண்டு பக்கங்களும் தோல்களால் மூடப்பட்டிருக்கின்றன. இவை, படத்தில் காணப்படுவதைப்போல், தோல்பட்டைகளினால்



படம் 74

இழுத்துப் பிடிக்கப்பட்டிருக்கின்றன. வார்களினிடையில் சில இடங்களில் சில மரத்துண்டுகள் புகுத்தி வைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. இவற்றை முன்னும்பின்னுமாக இடமாற்றி வைத்தால் தோல்களின் பிகுவை மாற்ற முடியும்; அப்பொழுது தோல்களிலிருந்து எழும் ஒலிகளின் சுருதிகளும் மாறுதலடையும். வலது பக்கமுள்ள தோல் இரண்டு பொதுமைய வளையத் தோல்களால் (concentric rings) செய்யப்பட்டுள்ளது. வெளி வளையம் மாட்டுக்கன்றின் தோலினாலும், அடுத்த வளையம் ஆட்டுத்தோலினாலும் ஆனவை. மையத்தில் கருமையான வில்லை (disc) ஒன்று தெரிகிறது. இது பசுமாட்டின் தோலாலானது. அதன்மேல் புளிச்சத்து, சாதம், இரும்புத்தூள் முதலியவற்றின் கலவையாலேற்பட்ட பசையொன்று பூசப்பட்டுள்ளது. இச் சாந்து இறுகி பளுவாகவும் பளபளப்பாகவும் இருக்கிறது. இடது பக்கத்திலுள்ள தோலும் இரண்டு பொதுமையத் தோலினாலானது. வெளிவட்டம் எருமைத் தோலினாலும், மையப்பகுதி ஆட்டுத் தோலினாலும் செய்யப்பட்டுள்ளன. கருவியை ஒலிப்பதற்குமுன் இதன் மையத்தில், ரவை மாவைத் தண்ணீரில் பிசைந்து அந்தப் பசையைத் தடவி அதன் சுருதியை இறக்கிக் கொள்ளவேண்டும். பீப்பாயின் உள்ளே காற்று அடைக்கப்பட்டுள்ளது.

கருவியை ஒலிக்க இரண்டு கைகளும், மணிக்கட்டுகளும், விரல் நுனிகளும் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. மிருதங்கம் வாசிப்பவர் தோல்களை அடிக்கடி அழுத்தி பிகுக்களை மாற்றி இசைக்கு மெருகு கொடுப்பார். பீப்பாயிலுள்ள காற்று ஒலியின் ஆற்றலைப் பெருக்குகிறது.

மெதுவாகத் தட்டினுல் வலது பக்கத்திலுள்ள வட்டங்களும் வில்லேயும் ஷட்ஜமம், பஞ்சமம், எண்மம் என்ற மூன்று சுருதி களேயும் எழுப்புகின்றன. இடது பக்கத்திலுள்ள தோலிலிருந்து, ஆதார சுருதியிலிருந்து ஓர் எண்மம் குறைவான ஒலி எழும்பும்.

மனிதக் குரல் (Human voice): மனிதக் குரலின் பௌதி கத்தை அறிந்துகொள்ள (1) குரலியக்கி, (2) அதிரும் பொருள், (3) கையாளப்படும் இயந்திர நுட்பம், (4) ஒத்திசைவிகள் அல்லது ஒலியின் ஆற்றலேப் பெருக்கும் உறுப்புகள் யாவை என்பதை முதலில் தெரிந்துகொள்ள வேண்டும்.

மனிதக் குரலே யெழுப்ப, நெஞ்சிலிருந்து கிளம்பும் காற்றுப் படலந்தான் இயக்கியாக அமைகிறது. இக் காற்றுப்படலம் சுவாசக் குழாய்களின் (wind pipes) வழியாகக் குரல் நாண்களுக்குச் (vocal cards) செல்கின்றன. குரல் நாண்கள் பேச்சின் உறுப் பாகிய லாரிங்ஸில் (larynx) பொருத்தப்பட்டுள்ளன. இந்தக் குரல் நாண்கள்தான் அதிரும் பொருள்கள். குரல் நாண்களே அடக்கி இயக்கும் நரம்புகளும், தசைகளுந்தான் கையாளப்படும் இயந்திர நுட்பங்கள். லாரிங்ஸிலுள்ள காற்றுப் பொந்துகள் தான் ஒலியைப் பெருக்கும் ஒத்திசைவிகள்.

பேசும்பொழுது, சுயேச்சையாயுள்ள தோற் குழலிகளான (membraneous reeds) குரல் நாண்கள் நெருங்கிக் குறுகியதொரு பிளவை (norrow slit) ஏற்படுத்துகின்றன. பிளவின் அகலமும், நாண்களின் பிருவும் நரம்புகளாலும் தசைகளாலும் மாற்றப் படுகின்றன. அதனுல் பேச்சொலிகள் எழுகின்றன. நுரையீரலி லிருந்து வரும் காற்றுப் படலத்தின் வலிவும் இதற்கு உதவி புரி கின்றது. குரல் நாண்களிலிருந்து வெளியாகும் காற்றோடைகள் அமைக்கும் சுழிப்பியக்கங்கள் (vortex motions), ஒத்திசைந்து பேச்சொலியின் ஆற்றலேப் பெருக்கி அதை நீட்டிக்கின்றன.

பொதுவாகக் கீச்சொலி கிளப்பும் குரல் நாண்களேவிட தாழ்ந்த குரலெழுப்பும் குரல் நாண்கள் நீளமாக இருக்கும். ஆண்களின் குரல் நாண்கள் பெண்களின் குரல் நாண்களேவிட சுமார் 1½ மடங்கு அதிக நீளமுள்ளவைகளாக இருக்கின்றன. அதனுல்தான் ஆண்களின் குரலேவிட பெண்களின் குரல் கூர்மை யாக இருக்கிறது. ஒரே குரலிலெழும்பிய ஒலியை மேலும் பிரிக்க முடியுமென்று எமில் பெஹுக் (Emil Behuke) கூறுகிருர். பேச்சுச் சுருதுகளே இரண்டு பிரிவுகளாகப் பிரிக்கின்றுர். ஒன்றுக் குக் கீச்சுக் குரலென்றும், மற்ருென்றுக்குத் தாழ்ந்த குரலென்றும் பெயர்.

கேள்விகள்

1. இசையொலியின் பண்புகளென்றால் என்ன? இவற்றின் காரணக் கூறுகள் என்ன?

2. டயட்டானிக் சுர வரிசை என்பதை விளக்கவும்.

3. பன்னிரண்டு சுர வரிசையென்னும் கர்நாடக இசை வரிசையை விளக்கவும்.

4. சரிசம சுதி சுர வரிசை என்றால் என்ன? அச் சுர வரிசை எவ்வாறு அமைக்கப்படுகிறது?

5. லாகரிதமிக் சதம் என்றால் என்ன? அதன் மதிப்பைக் கணக்கிடவும்.

6. இசைக்கருவிகளின் தனிப்பண்புகள் என்ன? இசைக்கருவிகளின் முக்கியமான மூன்று தேவைகள் யாவை? அவைகளை எத்தனை வகைகளாகப் பிரிக்கலாம், ஏன்?

7. தோல் இசைக் கருவிகள், நரம்பிசைக் கருவிகள், காற்றிசைக் கருவிகள் இவை ஒவ்வொன்றுக்கும் இரண்டு உதாரணங்கள் கூறி, ஒவ்வொன்றிலும் ஒன்றை விவரித்து விளக்குக.

7. காப்பதிர்வுகள்

(Maintained Vibration)

1. காக்கும் முறைகள்

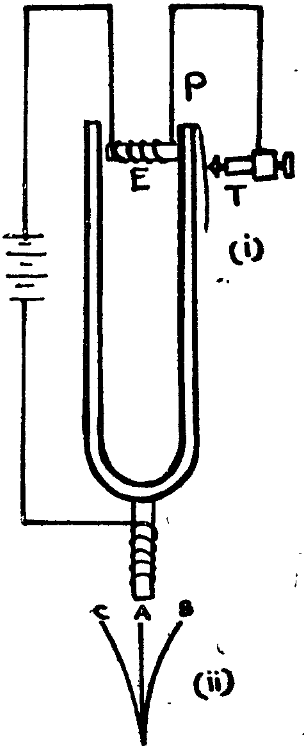
அதிர்வுகளை இயல்பதிர்வுகள் (free vibrations), திணிப் பதிர்வுகள் (forced vibrations), காப்பதிர்வுகள் (maintained vibrations) என மூன்று வகையாசப் பிரிக்கலாம். ஒரு பொருளின் அதிர்வுகளில் புற விசைகள் தலையிடாமலிருந்தால், அவற்றிற்கு இயல்பதிர்வுகள் என்று பெயர். சில சமயங்களில் வெளிச் சீரிசை விசைகளின் அதிர்வெண்ணுடன் பொருள்கள் அதிர்வதுமுண்டு. அப்பொழுது அதிர்வுகளுக்குத் திணிப்பதிர்வுகள் என்று பெயர். புறவிசைகள் தலையிட்டும், பொருள்கள் தங்களுடைய இயல்பான அதிர்வெண்களுடன் அதிருமாயின், அவற்றிற்குக் காப்பதிர்வுகள் எனப் பெயர். இந்த மூன்றுவது வகை அதிர்வுகளில், அவற்றை உண்டுபண்ணுவதற்குப் புறவிசைகள் வேண்டுவதில்லை; அவை அழியாமல் காக்கப்படுவதற்கே புற விசைகள் தேவைப்படுகின்றன. அதிர்வுகள் எப்படிக் காக்கப் படுகின்றன வென்பதை இந்த அத்தியாயத்தில் கவனிப்போம்.

முக்கியமாக, வெளி விசையின் அதிர்வெண் அதிரும் பொருளின் இயல்பான அதிர்வெண்ணுக்குச் சமமாக இருக்குமானல், அதிர்வுகள் காப்பாற்றப்படும் என்று கொள்ளலாம். கடிகாரப் பெண்டுலத்தின் அதிர்வுகள் காப்பதிர்வுகளுக்கு ஒரு சிறந்த உதாரணமாகும். ஒவ்வொரு தடவையும் சமநிலைத் தடத்தைத் தாண்டும்பொழுதும் பெண்டுலத்தின் குண்டு தள்ளிவிடப்படுகிறது. இது கணக்கில்லாமல் நிகழ்ந்து கொண்டிருந்தால், அதிர்வின் வீச்சு அதிகரித்துக் கொண்டே போகவேண்டும். ஆனல், அப்படியொன்றும் நிகழ்வதில்லை. அதற்குக் காரணம் காற்றுத் தடையும் (air resistance), தாங்கிகளில் (supports) ஏற்படும் உராய்வும் (friction) தான். இவை, வீச்சதிகரிப்பைக் கணிசமாகக்

குறைத்துவிடுகின்றன. ஆகையால், கூடிய சீக்கிரம் அதிரும் பொருள் நிலையானதோர் அதிர்வெண்ணுடன் அதிர ஆரம்பித்து விடுகின்றது. அத் தருணத்தில் பொருளின் இயல்பான அதிர் வெண்ணும் இந்த நிலையான அதிர்வெண்ணும் சமமாக இருக்கும். ஆர்கன் குழாயின் அதிர்வுகள், வயலின் நரம்புகளின் அதிர்வுகள் எல்லாமே காப்பதிர்வுகளுக்கு உதாரணங்களாகும். பெண்டுலத் தில் நிகழ்வது இயந்திர முறையிலுண்டாக்கப்படும் காப்பதிர்வு களாகும். அதிர்வுகள் மின்காந்த முறையிலும், எலெக்ட்ரானிய முறையிலும், வெப்ப முறையிலுங்கூடக் காக்கப்படலாம். அவற் றிற் சிலவற்றை இங்குக் கவனிப்போம்.

2. மின்னிசைக் கவை (Electrically maintained tuning fork)

ஓர் இசைக்கவையின் அதிர்வுகளைக் காப்பதற்கு உபயோகிக்கப் படும் மின்சுற்று (electrical circuit) படம் 75-ல் காட்டப்பட் டுள்ளது. குறைந்த அதிர்வெண்ணுடைய இசைக்கவையொன்றின் கவைகளுக்கிடையேயிருப்பது ஒரு மின் காந்தம் (*E*). மின்காந்தச் சுருளின் ஒரு நுனி, பாட்டரியொன்றின் வழி யாக இசைக்கவையின் தண்டுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ளது. மற்றொரு நுனி *T* என்னும் தொடர்புத் திருகுடன் (contact screw) சேர்க்கப்பட்டிருக் கிறது. திருகின் நுனியில் சிறிது பிளாட்டினம் (platinum) பொருத்தப் பட்டுள்ளது. வலது பக்கமுள்ள கவை யில் ஒரு மெல்லிய உலோகச் சிம்பு ஒன்று (thin metal strip) ஒட்டப்பட் டுள்ளது. கவை அசையாதிருக்கும் பொழுது பிளாட்டினம் முனை இந்தச் சிம்பைத் தொட்டுக் கொண்டிருக்கும்.



படம் 75

மின்சுற்றை இணைத்துவிட்டு, பிளாட்டினம் முனையிலிருந்து சிம்பு பிரியும்பொழுது, கவையைச் சற்றுத் தள்ளிவிட வேண்டும். சற்று நேரத் திற்குச் சிம்பு நகர்கிறது. சிம்பில் மீட்சி விசைகள் உருவானவுடன், மேலும் அது நகர்வதைத் தடை செய்கின்றன. அச்சமயம் கவை யிருக்குமிடம் *C* என்று வைத்துக்கொள்வோம் (75–ii). பிறகு

அது திரும்பி Aஐ அடைந்து பிளாட்டினம் முனையைத் தொடு கிறது. அத்துடன் நிற்காமல் தனது நிலைமைப் பண்பால் (inertia) சிம்பு தொடர்ந்து நகர்கிறது. ஆனால், அதே சமயத்தில் மின் சுற்றில் தொடர்பு ஏற்பட்டு விட்டதால், மின் காந்தம் இயங்க ஆரம்பித்து, கவட்டின் கவையைத் தன்னிடம் இழுக்கிறது. ஆகையால், B என்ற இடத்தை அடைந்தவுடன் கவை திரும்பி Aஐ மறுபடியும் அடைகிறது. கவையின் இயக்கம் இது போலவே மீண்டும் மீண்டும் தொடர்ந்து நடக்கின்றது; இசைக் கவையின் அதிர்வும் இம்முறையில் காக்கப்படுகிறது.

மின் காந்தத்தின் மின் நிலைமம் (inductance) இல்லாவிடில் அதிர்வுகள் காக்கப்படமாட்டா. எப்படியென்று இங்கு விளக்கு வோம். கவை A என்ற இடத்தையடையும் பொழுது மின்சுற்று இணைக்கப்பட்டால், மின்காந்தம், A-யிலிருந்து B-க்குக் கவை நகர்வதை எதிர்த்து, B-யிலிருந்து A-க்கு நகர்வதற்கு உதவு கிறது. ஆகையால், நிகர உதவி ஒன்றுமேயில்லாமல் போய் விடுகிறது. அப்படியானால் இசைக் கவையின் அதிர்வுகளைக் காப் பாற்ற முடியாது என்று தோன்றும். ஆனால், உண்மை இதுவன்று. மின்சுற்று இணைக்கப்படும்போது மின்காந்தச் சுருளின் மின் நிலைமத்தினால், மின்சார ஓட்டம் உடனே உச்ச நிலையை அடை வதில்லை. ஆகையால், காந்தத்தின் முழு விசையும் உடனே உறைப்பதில்லை. கவை A-யிலிருந்து B-க்குச் செல்லும்பொழுதை விட B-யிலிருந்து A-க்குத் திரும்பும் பொழுது மின்சார ஓட்டம் அதிகமாகவிருக்கும். எனவே, கவையின் இயக்கத்தை எதிர்க்கும் விசையைவிட, உதவும் விசைதான் அதிகமாக இருக்கும்.

A-யில் தொடர்பு நிறுத்தப்பட்டவுடன், சிம்புக்கும் பிளாட் டினம் முனைக்குமிடையே இடைவெளியேற்படுகிறது. அதனால் மின்சாரத் தடை அதிகரித்து, மின்சார ஓட்டம் உடனே நின்று விடுகிறது.

*பாட்டரியின் மின்னியக்கு விசை E என்றும், சுருளின் மின் நிலைமம் L என்றும், மின்சுற்றின் தடை R என்றும் வைத்துக் கொள்வோம். கவை A-யிலிருந்து B-க்குச் சென்று, திரும்பவும் A-க்கு வரும்பொழுதில், மின்சுற்று சுமார் பாதி அதிர்வு நேரத்திற்கு (T) மூடியிருக்கிறது. A-யிலிருந்து C-க்குச் சென்று மறுபடியும் A-க்குத் திரும்பும் நேரத்தில் சுற்று முற்றிலும் திறந் திருக்கிறது. A என்ற இடத்தில் சுற்று மூடும்பொழுது அதாவது $t = 0$ ஆக இருக்கும்பொழுது மின்சார ஓட்டம் ஏற ஆரம்பிக் கிறது. A என்ற இடத்தில் சுற்று திறக்கும்பொழுது, அதாவது

* முதலில் இதைப் படிக்க வேண்டியதில்லை.

$\frac{T}{2}$ விநாடிகள் கழித்து, மின்சார ஓட்டம் திடீரென்று நின்று விடுகிறது. A-யிலிருந்து B வரை (நேரம் 0-விலிருந்து $\frac{T}{4}$) மின் காந்தச் சுருளின் வழியே ஓடும் மின்சார அளவு $= Q_1$. இது கவையின் இயக்கத்தை எதிர்க்கிறது. B-யிலிருந்து A வரை (நேரம் $T/4$-லிருந்து $T/2$) மின்காந்தச் சுருளின் வழியே ஓடும் மின்சார அளவு $= Q_2$. இது கவையின் இயக்கத்திற்கு ஒற்றுமையாக விருக்கிறது. ஒவ்வொரு சைக்கிளிலும்(cycle)பாட்டரியிலிருந்து எடுக்கப்படும் மின்சாரத்தின் அளவு $= Q_1 + Q_2$. பயன் தரத்தக்க விதத்தில் உபயோகிக்கப்படும் மின்சாரத்தின் அளவு $= (Q_2 - Q_1)$. எனவே, பயனுறு திறன்

$$e = \frac{Q_2 - Q_1}{Q_2 + Q_1}$$

எந்த நேரத்திலும் மின்சார ஓட்டத்தைக் கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டினால் குறிக்கலாமென்பது நமக்குத் தெரியும். அதாவது,

$$I = \frac{E}{R}\left(1 - e^{-\frac{R}{L}t}\right)$$

$$Q_1 = \int_0^{T/4} I \cdot dt$$

$$Q_2 = \int_{T/4}^{T/2} (I\,dt).$$

ஆகையால், $$Q_1 = \int_0^{T/4} \frac{E}{R}\left(1 - e^{-\frac{R}{L}t}\right) dt$$

$$= \frac{E}{R}\left[t + \frac{L}{R}e^{-\frac{R}{L}t}\right]_0^{T/4}$$

$$= \frac{E}{R}\left[\frac{T}{4} + \frac{L}{R}e^{-\frac{R}{4L}t} - \frac{L}{R}\right] \quad \ldots\ldots(1)$$

அதுபோலவே,

$$Q_2 = \int_{T/4}^{T/2} \frac{E}{R}\left(1 - e^{-\frac{R}{L}t}\right) dt$$

$$= \frac{E}{R}\left[t + \frac{L}{R}e^{-\frac{R}{L}t}\right]_{T/4}^{T/2}$$

$$= \frac{E}{R}\left[\frac{T}{4} + \frac{L}{R}e^{-\frac{RT}{2L}t} - \frac{L}{R}e^{-\frac{RT}{4L}}\right] \quad \ldots\ldots(2)$$

ஆகையால்,

$$Q_2 - Q_1 = \frac{E}{R}\cdot\frac{L}{R}\left[e^{-\frac{RT}{2L}} - 2\,e^{-\frac{RT}{4L}} + 1\right] \quad \ldots\ldots(3)$$

$$Q_2 + Q_1 = \frac{E}{R}\left[\frac{T}{2} - \frac{L}{R}\left(1 - e^{-\frac{RT}{2L}}\right)\right] \quad \ldots\ldots(4)$$

$$\therefore e = \frac{Q_2 - Q_1}{Q_2 + Q_1}$$

$$= \frac{\frac{L}{R}\left[e^{-\frac{RT}{2L}} - 2e^{-\frac{RT}{4L}} + 1\right]}{\left[\frac{T}{2} - \frac{L}{R}\left(1 - e^{-\frac{RT}{2L}}\right)\right]}$$

$$= \frac{\frac{L}{R}\left[e^{-\frac{RT}{4L}} - 1\right]^2}{\left[\frac{T}{2} - \frac{L}{R}\left(1 - e^{-\frac{RT}{2L}}\right)\right]} \quad \ldots\ldots(5)$$

(i) மின் நிலைமத்தின் மதிப்பு பூஜ்ஜியமானால், $L = 0$. அப்பொழுது பயனுறுதிறனும் பூஜ்ஜியமாகும். இசைக் கவைக்கு ஆற்றலை கொடுக்கப்படவில்லை. அதிர்வுத் தடை ஈடு செய்யப் படாமல் போய்விடுகிறது. எனவே, அதிர்வுகளும் சீக்கிரம் அழிந்து விடுகின்றன.

(ii) மின்நிலைமம் மிகப்பெரியதாயும், மின் தடை புறக் கணிக்கத் தக்கதாயும் ($R = 0$) இருந்தால்,

$$e = \frac{\frac{L}{R}\left[1 - \frac{RT}{4L} + \frac{R^2T^2}{32L^2}\ldots\ldots 1\right]}{\left[\frac{T}{2} - \frac{L}{R}\left(1 - 1 + \frac{RT}{2L} - \frac{R^2T^2}{8L^2}\ldots\right)\right]} \quad \ldots(6)$$

மின்னத்தின் பகுதியிலுள்ள $\frac{L}{R}$ -ன் மேல் மடிகளை (higher powers) நீக்கிவிட்டால்,

$$e = \frac{\frac{L}{R}\left(-\frac{RT}{4L}\right)^2}{\frac{T}{2} - \frac{L}{R}\left(\frac{RT}{4L} - \frac{R^2T^2}{8L^2}\right)}$$

$$= \frac{\left[\frac{L}{R}\cdot\frac{R^2T^2}{16L^2}\right]}{\left[\frac{T}{2} - \frac{T}{2} + \frac{L}{R}\cdot\frac{R^2T^2}{8L^2}\right]}$$

$$= \frac{\frac{L}{R}\cdot\frac{R^2T^2}{16L^2}}{\frac{L}{R}\cdot\frac{R^2T^2}{8L^2}}$$

$$= \frac{1}{2}.$$

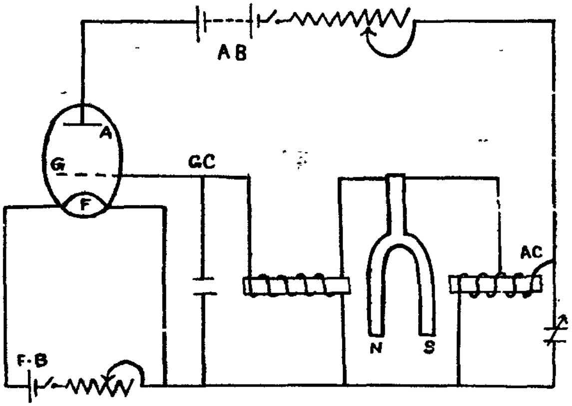
எனவே, மின் நிலைமத்தின் மதிப்பு அதிகமாக இருக்கும்பொழுது, பயனுறு திறனின் பெரும மதிப்பு 50 சதவீதந்தான். மின்சுற்று திறக்கப்படும்பொழுது எதிர் மின்னியக்கு விசையுண்டாகிறது. இதனுல் மின்சுடர் எழும்பி பிளாட்டினம் முனைக்குத் தீங்கு விளை விக்கும். ஆகையால் இதைத் தடுக்க, சுற்றில் கொஞ்சம் மின் தடையையும், தொடர்பு இடைவெளியில் (contact gap) குறுக்கே ஒரு மின்தேக்கியையும் (condenser) இணைப்பது விரும்பத்தக்க தாகும்.

மாறிக்கொண்டேயிருக்கும் மின் காந்தத்தின் அதிர்வெண் இசைக்கவையின் அதிர்வெண்ணுல் கட்டுப்படுத்தப்படுவதால், இசைக்கவையின் அதிர்வுகள் திறம்படக் காக்கப்படுகின்றன.

3. இசைக் கவையின் எலெக்ட்ரான் வால்வு காப்பதிர்வுகள் (Valve maintained-fork)

இசைக்கவைகளின் அதிர்வெண்கள் 100, 150-க்கு மேல் இருந் தால் அவற்றின் அதிர்வுகளை மின்காந்த முறையில் காப்பது அவ் வளவு வெற்றிகரமாக இருப்பதில்லை. அதிக அதிர்வெண்களுள்ள இசைக்கவைகளின் அதிர்வுகளைக் காக்க எக்கிள்ஸ் (W.H. Eccles) ஒரு சீரிய முறையைக் கண்டுபிடித்துள்ளார். முக்கியமாக, அதிர் வெண்கள் மிக உயர்வாக இருந்தால், இம்முறை மிகவும் பயன் தரத் தக்கதாயுள்ளது.

இசைக் கவட்டின் இரண்டு கவைகள் மீதும் இரண்டு மின் காந்தங்கள் இயங்குகின்றன. ஒரு மின் காந்தம் ஓர் எலெக்ட்ரான்



படம் 76

வால்வின் கிரிட் சுற்றிலும் (grid circuit) மற்றொன்று ஆனோட் சுற்றிலும் (anode circuit) பிணைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. மின் காந்தங்களின் சுருள்களிரண்டும் எதிர்த் திசைகளில் சுற்றப்பட்டுள்ளன. வால்வின் ஃபிலமெண்ட் (filament) ஒரு ஃபிலமெண்ட் பாட்டரியினால் சூடாக்கப்படுகிறது. ஆனோட் (anode) ஓர் ஆனோட் பாட்டரியின் நேர் முனைக்குச் சேர்க்கப்பட்டுள்ளது. ஃபிலெமெண்ட் பாட்டரியின் எதிர்முனையும், ஆனோட் பாட்டரியின் எதிர் முனையும் படத்திற் கண்டபடி ஒரு மின்தேக்கியின் வழியே இணைக்கப்பட்டுள்ளன. வால்வின் கிரிட் ஒரு மின்காந்தச் சுருளின் வழியே ஃபிலெமெண்ட் பாட்டரியின் எதிர்முனையுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ளது. இயக்கியவுடனே இசைக்கவை இயங்க வேண்டுமென்பதற்காக, மின்காந்தச் சுருள்களின் குறுக்கே இரண்டு மின்தேக்கிகள் சேர்க்கப்பட்டிருக்கின்றன. இசைக் கவட்டின் இரண்டு கவைகளுங்கூட நிரந்தரமாக காந்தமாக்கப்பட்டுள்ளன.

ஆரம்பத்தில் இசைக் கவை அதிர்ந்து கொண்டிருக்கட்டும். இரண்டு கவைகளுமே தங்களது மின் காந்தச் சுருள்களினின்று விலகிச் சென்றுகொண்டிருக்கும் தருணத்தைக் கவனிப்போம். S என்னும் கவை GC என்னும் சுருளை நோக்கிச் சென்று கொண்டிருப்பதால், அதில் ஒரு மின்னியக்குவிசை தூண்டப்படுகிறது. இதனால் கிரிடின் மின்னழுத்தம் உயர்ந்து ஆனோடிலிருந்து ஃபிலெமெண்டிற்கு ஓடும் மின்சாரம் அதிகரிக்கின்றது. இந்த அதிகரித்த மின்னோட்டம் ஃபிலெமெண்ட் வழியாக ஆனோட் சுற்றுக்குச் செல்கிறது. இதனால் மின்காந்தம் N என்னும் கவையை

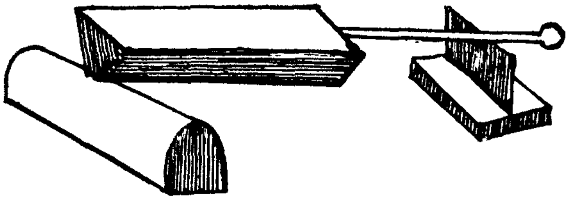
எதிர்த்துத் தள்ளுகிறது. அதாவது N என்னும் கவையும், S என்னும் கவையும் நெருங்குகின்றன. இதனால் கவையின் இயக்கத்திற்கு உதவி கிடைக்கின்றது. இதே விளக்கத்தை இயக்கத்தின் எந்தக் கட்டத்திற்கும் தரலாம்.

பல சோதனைகளைச் செய்து D. W. டை (D. W. Dye) என்பவர் வால்வின் மூலம் இசைக்கவையின் அதிர்வுகளைக் காக்கும் முறையொன்றைக் கண்டுபிடித்துள்ளார். இசைக்கவை ஒரு சிறந்த நுட்பமான நேரப் படித்தரமாக (precision time-standard) விளங்குகிறது.

4. வெப்பத்தால் தாக்கப்படும் அதிர்வுகள்

(a) ட்ரெவெல்யன் ராக்கர் (Trevelyan Rocker): வெப்ப ஆற்றலின் உதவியால் திடப்பொருள்களிலும் வாயுப் பொருள்களிலும் அதிர்வுகளைக் காக்க முடியும். வெப்பத்தை அளித்த பிறகு திடப்பொருள்களில் உருப்பெருக்கமும் உருச் சுருக்கமும் விரைவாக நடைபெறுவதால் அவை அதிர ஆரம்பிக்கின்றன. ட்ரெவெல்யன் என்பவர் இந்நிகழ்ச்சியை முதன்முதலில் *1831*-ல் தற்செயலாகக் கவனித்தார். சூடான இரும்புக் கவையொன்று ஓர் ஈயக் கட்டியின்மேல் இருக்க நேர்ந்தது. அப்பொழுது அது இசையொலியை எழுப்பிற்று. இதைக் கண்ட ட்ரெவெல்யன் இந்நிகழ்ச்சியை மேலும் ஆராய்வதற்கு ஓர் உருப்படிவத்தைச் (model) செய்தார். இப் படிவத்திற்குத்தான் ட்ரெவெல்யன் ராக்கர் என்று பெயர்.

இதன் முக்கிய பாகம் பித்தளையாலோ அல்லது செம்பாலோ செய்யப்பட்ட ஒரு நீண்ட முக்கோணப் பட்டகமாகும். அதன் பின்புறத்தில் மையமாக அதன் நீள முழுவதும் ஒரு குழிவு (groove) இருப்பதைக் காணலாம். குழிவுக்கு இருபக்கங்களிலும்



படம் 77

அதற்கு இணையாக இரண்டு விளிம்புகள் ஓடுகின்றன. படத்தில் காட்டியுள்ளபடி பட்டகத்தின் மேற்புறத்தில் ஒரு நீண்ட கோல் இணைக்கப்பட்டுள்ளது. அதன் நுனியில் ஒரு குமிழ் (knob)

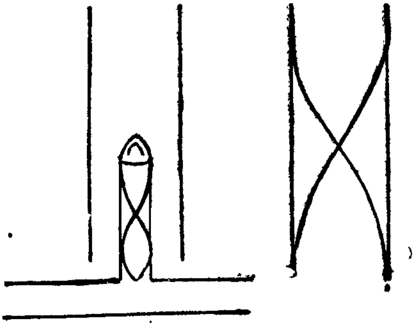
காணப்படுகிறது. ஈயத்தாலான தூய மெதுவான பரப்புள்ள அரை உருளையின்மீது பட்டகத்தின் விளிம்புகள் பதிந்துள்ளன. கோலோ அல்லது கோலின் குமிழோ ஒரு கத்தி முனையின் மேல் (knife edge) அமர்ந்துள்ளது.

ராக்கரின் விளிம்புகளை உப்புத் தாளினால் பளபளப்பாகத் தேய்த்து, மிதமாகச் சூடேறும்படி அனலில் காட்டி ஈயத்துண்டின் மேல் முன்போல் அமர்த்த வேண்டும். வெப்பம் சரியான நிலையிலிருந்தால் இனிமையான ஒலி காதில் விழும். இல்லாவிடில், பட்டகத்தை மெதுவாகத் தட்டிவிட்டால் போதுமானது. அதிர்வுகள் ஆரம்பித்துவிட்டால் நெடுநேரம் நீடிப்பதைக் காணலாம். கோலைச் சற்று அழுத்தினால், ஒலியின் சுருதியும் பெருகும். ஒரு சிறு கண்ணாடித் துண்டைக் கோலின் குமிழில் பொருத்தி ஒளிப் புள்ளியொன்றை அதனால் எதிரொளித்தால் அதிர்வுகள் மிகத் தெளிவாகப் புலப்படும்.

இந் நிகழ்ச்சிக்கு லெஸ்லி (Leslie) என்பவர் முதன்முதலில் விளக்கந் தந்தார். சூடாக்கப்பட்ட ராக்கரின் ஒரு விளிம்பு ஈயத் துண்டைத் தொடும்பொழுது, வெப்பம் ஈயக்கட்டிக்குப் பரவி உடனே விளிம்புக்குக் கீழே ஈயக்கட்டியில் ஒரு திமில் (hump) உருவாகிறது. வளர்ந்து வரும் இத் திமில் ராக்கரைத் தள்ளுகிறது. அதனால் பட்டகம் புரண்டு இரண்டாவது விளிம்பின் மூலம் ஈயக் கட்டியின் மீது மறுபுறம் சாய்கிறது. சாய்ந்தவுடன் அதிலிருந்து ஈயக்கட்டிக்கு வெப்பம் பரவி, அங்கு ஒரு திமில் உண்டாகி ராக்கர் மறுபடியும் உந்தித் தள்ளப்படுகிறது. இது நிகழ்ந்து கொண்டிருக்கும்பொழுது, முதல் திமில் மறைந்துவிடுகிறது. இவ்விதமாக ராக்கர் ஆடிக்கொண்டேயிருக்கும். வெப்பம் குறைந்தவுடன்தான் ஆட்டமும் நிற்கும். இந்துப்பு (rock-salt) வெப்பத்தை வெகு நேரம் இருத்திக் கொள்வதால், ராக்கரைச் செய்வதற்கு இதைப் பயன்படுத்தலாம். இரண்டு திமில்களுக்கு இடையேயுள்ள நேரமும் ராக்கரின் அதிர்வு நேரமும் சமமாகவே யிருப்பதால் அதிர்வுகள் செம்மையாகக் காக்கப்படுகின்றன.

(b) பாடும் சுடர் (Singing flame): வெப்பத்தால் காக்கப் படும் அதிர்வுகளுக்கு இரண்டாவது உதாரணமாக, 'பாடும் சுடரை'ச் சொல்லலாம். இதை முதன் முதலில் கவனித்தவர் ஹிக்கின்ஸ் (Higgins) என்பவர். செங்குத்தான ஒரு கண்ணாடிக் குழாய்க்குள் ஹைட்ரஜன் வாயு எரியும் சுடரொன்றைப் புகுத்தினர். சூழ்நிலை சரியாக விருந்தபொழுதெல்லாம் இசையொலி எழும்பி, தொடர்ந்து ஒலித்தது. டீலாரைவ் (Delarive), ஃபாரடே (Faraday), டோப்ளர் (Topler) முதலியோர் இந்நிகழ்ச்சிக்குப் பல

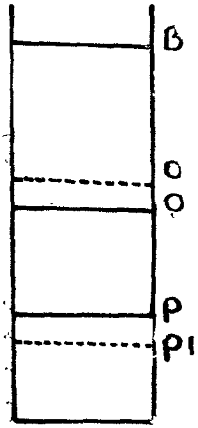
விளக்கங்கள் கொடுத்துள்ளனர். ஸாண்ட்ஹாஸ் (Sondhauss) கொடுத்த விளக்கத்தை இங்குக் கவனிப்போம். D என்ற இடத்திலிருக்கும் சுடரினருகில் காற்று வெப்பமாகி அதனுல் அதன் அடர்த்தி மாறி, ஓர் இறுக்கம் (compression) சுடரைவிட்டு விலகிச் செல்கிறது. அப்பொழுது குழாயிலுள்ள காற்று தனது இயற்கையான ஒலியை எழுப்புகிறது. D என்னுமிடத்தில் கணுவும், A, B என்ற இடங்களில் எதிர்க் கணுக்களும் ஏற்படுகின்றன. சில சமயங்களில் ஒலியெழுப்ப முடியவில்லை யென்பதையும் ஸாண்ட்ஹாஸ் கண்டார். ஆகையால், பயன்படுத்தப்படும் வாயுவிற்குத் தகுந்தாற்போல் வாயுக் குழாயின் நீளமும் மாற வேண்டுமென்று அவர் எண்ணினுர். அப்பொழுது சுடரினருகில் வாயுவின் அலைவும் காற்றின் அலைவும் இணைகின்றன. வாயுவின் அதிர்வுக்கு வாயுக்குழாயின் வாயில் கணுவும், கீழே கொஞ்ச தூரம் தள்ளி, படத்தில் கண்டுள்ளபடி, ஓர் எதிர்க் கணுவும் அமைகின்றன. எனவே, இசையொலி உண்டாகிறது. ஆனுல், ஒரு பஞ்சு முளையைக் கொண்டு (cotton plug) வாயுக் குழாயிலுள்ள அலைவுகளை அடக்கினுல் சுடரும் பாடுவதை நிறுத்துகிறது.



படம் 78

பாடும் சுடருக்குத் திருப்தி தரும் வகையில் முதன் முதல் விளக்கந் தந்தவர் ராலே பிரபுதான் (Lord Rayleigh). பெரும இறுக்கத்தின்பொழுது வெப்பத்தை அளிப்பதும், பெருமத் தளர்த்தியின்பொழுது வெப்பத்தைக் கவர்வதும், பாடலுக்குக் காரணமாக அமைகின்றன வென்று அவர் விளக்கினுர். பாடும் குழாயில் சுடர் O என்ற இடத்தில் இருக்கிறது. அவ்விடத்திலுள்ள ஓர் அடுக்குக் காற்றைக் கவனிப்போம். இவ்வடுக்கு O என்ற இடத்திலிருந்து P என்ற இடத்திற்குக் கீழேயிறங்கி இறுக்கத்தை யேற்படுத்துகிறது. இடப்பெயர்ச்சி OP என்ற தூரத்திற்குச் சமமாக இருப்பதால், அதிர்வின் வீச்சு $OP = a$ என்று வைத்துக் கொள்ளலாம். இத்தருணத்தில் வெப்பம் அளிக்கப்படுகிறது. அதனுல் குழாயில் அழுத்தம் அதிகரிக்கிறது; அடுக்கின் விற்கூறு (spring factor) அதிகரிக்கிறது. எனவே, அது திரும்பிப் பாய்கிறது. பாயும்பொழுது O என்ற இடத்தைத் தாண்டிச் செல்கிறது. சமநிலைப் புள்ளி O' என்ற இடத்திற்கு மாறுகிறது. OO' என்ற தூரம் k என்ற மதிப்

-புக்குச் சமமானால், இப்பொழுதுள்ள வீச்சின் மதிப்பு = $O'P$ = $(a+k)$. ஆகையால் மேற் பயணத்தில், அடுக்கு B என்ற இடத்திற்குச் செல்கிறது. $O'B = (a+k)$. இச் சமயத்தில்தான் காற்றில் தளர்த்தியேற்படுகிறது. வெப்பம் கவரப்படுகிறது. குழாயினுள்ளே அழுத்தம் குறைகிறது. இதனால் சம நிலைப்புள்ளி மறுபடியும் O என்ற இடத்திற்கே நகர்கின்றது. இப்பொழுது வீச்சு = BO = $(a+2k)$. எனவே, இறுக்கத்தின் பொழுது வெப்பத்தைக் கொடுப்பதாலும், தளர்த்தியின்பொழுது வெப்பத்தைக் கவர்வதாலும், அலைவுகளின் வீச்சு அதிகரிக்கிறது. வீச்சு எல்லையின்றி அதிகரித்துக்கொண்டே போகவும் முடியாது. தடைப்பாடு (damping), கதிர் வீச்சு (radiation) முதலிய நிகழ்ச்சிகளால் இடர்ப்பாடுகள் ஏற்படுகின்றன. அதனால் விரைவிலேயே வீச்சு ஒரு நிதான நிலையை அடைகின்றது. அந்நிலைக்கேற்றவாறு ஒலி யெழுப்பி நிலைத்து நிற்கின்றது.



படம் 79

வாயுக் குழாயில் என்ன நிகழ்கின்றதென்பதை அறிய ரிச்சர்ட்ஸன் (richardson) அழுத்த வேறுபாட்டுச் சுடரை உபயோகித்துச் சோதனைகள் நடத்தினார். சோதனைகளிலிருந்து, சுடருக்குச் சற்றுமேலே எதிர்க் கணுவும், அதற்குங் கீழே வாயுக் குழாய்க்குள் கணுவும் இருப்பதாகத் தெரியவந்தன.

ஒலிக் குழாயில் இறுக்கம் ஏற்படும்பொழுது, கணுவில் அழுத்தக் குறைவு ஏற்படுகிறது. இதே இடத்தில்தான் சுடரும் எரிகிறது. ஆகையால், அதுதான் வாயுக் குழாயின் எதிர்க்கணுவாகும். ஒலிக்குழாயின் கணுவும், வாயுக் குழாயின் எதிர்க் கணுவும் ஒரே இடத்திலிருக்கின்றன. வாயுத் துகள்கள் ஓடி அழுத்தத்தை ஈடு செய்கின்றன. அப்பொழுது சுடரின் பிரகாசம் அதிகரிக்கிறது; வெப்ப நிலையும் அதிகமாகிறது. ஆகையால், இறுக்கத்தின் பொழுது வெப்பம் அளிக்கப்படுகிறது. ஒலிக்கும் குழாயில் தளர்த்தி ஏற்படும் பொழுது கணுவுக்கருவில் அழுத்தம் அதிகரிக்கிறது. ஆகையால், வாயுத் துகள்கள் குழாய்க்குள்ளே தள்ளப்படுகின்றன. சுடரின் பிரகாசம் குறைகிறது; அதன் வெப்ப நிலையும் குறைகிறது. ஆகையால், தளர்த்தியின்பொழுது வெப்பம் கவரப்படுகிறது.

வாயுக்குழாயில் சுடருக்குச் சற்றுமேலே எதிர்க்கணுவும், கீழே கணுவும் இருப்பதால் வாயுக் குழாயின் நீளம் ஒலியின் கால அலை நீளத்தைவிடச் சற்றுக் குறைவாகவோ, அல்லது முக்கால் அலை நீளத்திற்குச் சற்றுக் குறைவாகவோ இருக்கலாம்.

(c) ரிஜ்கேயின் காஸ் ஒலி (Rijke gauze-tone): வெப்ப ஆற்றலைச் செலவிட்டு ஒலியையெழுப்ப ரிஜ்கே யென்பவர் மேலு மொரு முறையைக் கண்டுபிடித்துள்ளார். செங்குத்தான நீண்ட கண்ணாடிக் குழாயின் மையத்தில் கம்பி வலை (metal gauze) ஒன்றை அவர் பொருத்தினர். ஜெட் விளக்கு ஒன்றை உப யோகித்து அந்த வலையைச் சிவப்பு நிறமேறும்வரை சூடாக்கினர். விளக்கைப் பின்னிழுத்தவுடன் குழாயிலுள்ள காற்று ஒலி யொன்றை யெழுப்பியது. வலையின் வெப்ப நிலையும் குழாயிலுள்ள காற்றின் வெப்ப நிலையும் ஒன்றுகும்வரை ஒலி நீடித்து வந்து கொண்டேயிருந்தது. குழாய் பெரிதாக இருந்ததால் ஒலி மிகவும் உரப்பாகக் கேட்டது. வலையை மின்சாரத்தால் தொடர்ந்து சூடேற்றிக் கொண்டேயிருந்தால், ஒலியும் நெடுநேரம்வரைக் கேட்டுக் கொண்டேயிருக்கும்.

இந் நிகழ்ச்சிக்குப் பின்வருமாறு ரிஜ்கே விளக்கந் தந்தார். வலையைச் சூடாக்கும்பொழுது அதைச் சுற்றியுள்ள குழாயின் சுவர்களும் சூடாகின்றன. சூடாயுள்ள வலையின் வழியே செல்லும் பொழுது காற்று விரிவடைகிறது. வெளி வந்த காற்று மேலே சென்று குழாயின் குளிர்ந்த பாகங்களில் மோதும்போது, சுருக்க மடைகிறது. அடுத்தடுத்து நிகழும் பெருக்கங்களும் சுருக்கங் களும் குழாயில் ஒலியெழுவதற்குக் காரணமாகின்றன. வலையின் வெப்பநிலை சுற்றுப் பக்கத்து வெப்பநிலைக்குக் குறைகிறவரை ஒலி கேட்டுக் கொண்டிருக்கும். வலை எப்பொழுதுமே சூடாக வைக்கப்பட்டிருந்தால் ஒலி தடைபடாமல் நிலைத்து நிற்கும்.

5. உணர்வுச் சுடர்களும் ஜெட்களும் (Sensitive flames and jets)

இவை காப்பதிர்வுகளின் வகையைச் சேர்ந்தவையல்ல. ஆனல், இச் சுடர்களின்மீது புறவொலிகள் படும்பொழுது இவற்றின் செயல்பாடே மிகவும் விநோதமாக இருக்கின்றது. இவற்றை முதன்முதலில் கண்டுபிடித்தவர் லெகான்த்தே (Leconte) ஆவார். உணர்வுச் சுடர் என்பது பொருத்தமாகச் செய்யப்பட்ட விளக்கி லிருந்து கிளம்பும் ஒரு நுண்ணிய சுடராகும். உயர் சுருதி ஒலிகள் இதன்மீது படும்பொழுது இது உடனே இயங்க ஆரம் பித்து விடுகிறது; காதிற்கெட்டாத சுருதியுள்ள ஒலிகள் பட்டாலுங்கூட இது இயங்கும். இவ் வொலிகள் சுடரின் மீது

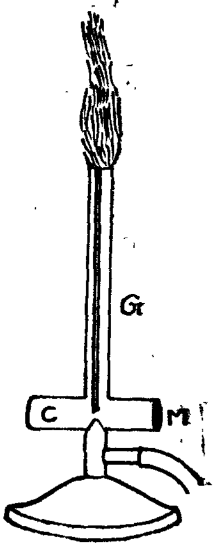
பட்டால், சுடர் திடீரென்று அமுங்குகிறது அல்லது பலமாகக் கர்ஜிக்கிறது. காரணம்? சுடர் இடர்ப்படாதிருக்கும்பொழுது வாயுத் துகள்கள் சீரான இயக்கத்திற்குரிய விதிகளுக்குட்பட்டு இயங்குகின்றன. உயர் சுருதி ஒலிகள் சுடர்மீது தாக்கும் பொழுது இவ் விதிகள் மீறப்படுகின்றன. அதனால்தான் சுடர் விசித்திர முறையில் இயங்குகிறது. இங்கு டிண்டாலின் உயிரொலிச் சுடரையும் (Tyndall's vowel flame), ராலேயின் உறையிட்ட ஜெட்டையும் (Rayleigh's enclosed jet) விளக்குவோம்.

டிண்டால் சுடர் என்பது ஒரு விளக்குதான். சீரான பேரழுத்தத்துடன், ஒரு வாயுப் புழை (gas blower) வழியே இதற்கு வாயு அளிக்கப்படுகிறது. வாயுப் புழை ஒரு மின் விசை மோட்டாரினால் இயக்கப்படுகிறது. மின்சுற்றில் மின்தடை மாற்றி (Rheostat) ஒன்று சேர்க்கப்பட்டுள்ளது. ஆகையால், மோட்டாரின் வேகத்தையோ அல்லது மின்தடையையோ கட்டுப்படுத்தி வாயுவின் அழுத்தத்தை விருப்பப்படி மாற்றிக் கொள்ள முடியும். புழை வழியின் வெளி வாய் (out let) ஒரு ரப்பர்க் குழாயின் மூலம் ஒன்றன்பின் ஒன்றாகவுள்ள இரண்டு காற்றுறிஞ்சி ஜாடிகளுடன் (aspirator jars) இணைக்கப்பட்டுள்ளது. இரண்டாவது ஜாடியிலிருந்து உணர்வுச் சுடருக்குச் செல்லும் வாயுவை ஒரு வடிமுனை (tap) கட்டுப்படுத்த முடியும். வேண்டிய அழுத்தத்தில் முதலாவது ஜாடி வாயுவைச் சேகரித்துச் சீரான அழுத்தத்துடன் இரண்டாவது ஜாடிக்கு அனுப்புகிறது. இரண்டாவது ஜாடிக்கும் சுடருக்குமிடையேயுள்ள வடிமுனையை இயக்கிச் சுடர் நுட்பம் பொருத்தப்படுகிறது. இப்பொழுது சுடரின் விட்டம் சுமார் 2 மில்லி மீட்டர் இருக்கும்; அதன் உயரம் பெரும அளவில் இருக்கும். இந்த நிலையில் புறவொலி சுடரின் மீது பட்டால் அதன் உயரம் அதிகரிக்கும். உயர் சுருதிகள் உள்ள ஒலிகள் சுடரைத் தாக்கும்பொழுது அதன் உயரம் 30 செ.மீ. வரை உயருவதாக டிண்டால் கண்டுள்ளார். உணர்வின் இருப்பிடம் சுடர் எரியும் துளையென்றும், மிதியடியின் ஒலியோ, கடிகாரத்தின் ஒலியோ அல்லது ஒரு காகிதத்தின் படபடப்போ சுடரை வன்மையாய்ப் பாதிக்குமென்றும் அவர் கூறுகிறார்.

ராலேயின் ஜெட் நுரைக் கல்லாலான ஓர் ஊசித்துளை விளக்காகும் (pin hole burner). இவ் விளக்கு C-என்றதோர் அறையில் வைக்கப்பட்டுள்ளது. அறையின் முகப்பில் M என்ற மெல்லிழை ஜவ்வு ஒன்று இருக்கிறது G என்னும் கண்ணாடிக் குழாய் C-யுடன் பொருத்தப்பட்டுள்ளது. சுடர் இக் கண்ணாடிக் குழாயின் வழியே சென்று திறந்த வெளியில் எரிகிறது. புற

வொலிகள் முழுச் சுடரையும் பாதிக்காவண்ணம் கண்ணாடிக் குழாய் தடுக்கிறது. கண்ணாடிக் குழாய்க்குள்ளே துவாரம்வரை ஓர் உலோகக் கம்பி பொருத்தப்பட்டுள்ளது. ஊசித்துளை மேல் பனி படராமல் இக் கம்பி பார்த்துக்கொள்ளும். வெளியொலி அறைக் குள்ளே செல்ல வேண்டுமாயின், மெல்லிழை ஐவ்வை இயக்கித்தான் நுழைய வேண்டும். சாதாரண சுருதியுள்ள ஒலிகளால் கூடச் சுடரை வெகுவாகப் பாதிக்க முடிகிறது.

கண்ணாடிக் குழாயின் துளை நேர் உருளை யாக (right cyliner) இருந்தால் சுடர் நுட்ப மாக இருப்பதில்லையென்றும், சுடர் உணர் வுள்ளதாக இருக்க வேண்டுமாயின், ஒரு நுண் ணிய தடையைச் சுடரின் விளிம்புக்குக் கொண்டு வரவேண்டுமென்றும் சமீப காலத் தில் கண்டுபிடிக்கப்பட்டுள்ளது. குழாயின் துளை வரவரக் குறைந்துகொண்டே வந்து இறுதியில் ஒரு சிறு வட்டமான துளையில் முடிந்து, துளையின் விளிம்பு கூர்மையாகவும் இருந்து விட்டால் சுடர் நுண்ணுணர்வடைகிறதென்றும் தெரிய வருகிறது.



படம் 80

வயலின் வில்லின் காப்பதிர்வுகள் (Action of the violin bow): காப்பதிர்வுகளுக்குச் சிறந்த உதாரணம் வயலின் வில்லின் அதிர்வுகளென்று இந்த அத்தியாயத்தின் ஆரம்பத்திலேயே குறிப்பிடப்பட்டது. எப்படியென்பதை இங்குக் கவனிக்கலாம். வில்லில் உபயோகப்படுத்தப்பட்டிருக்கும் நரம்புகள் குதிரைவால் முடிகளாகும். ஒவ்வொரு முடியின் அடிப்பக்கம் தடித்தும் நுனிப் பக்கம் மெலிந்தும் இருக்கும். இவற்றைச் சேர்க்கும்பொழுது அடிப்பக்கமெல்லாம் ஒரு திசையிலும் நுனிப் பக்கமெல்லாம் மற்றொரு திசையிலுமிருந்தால் வில்லின் கம்பி ஒரு பக்கம் மிகத் தடித்தும் மறுபக்கம் மிகமெலிந்தும் இருக்கும். இருபுறங்களும் ஒரே தடிப்புடனிருக்க வேண்டுமென்றால் பாதி முடிகளை ஒரு பக்கம் திருப்பியும் அடுத்த பாதியை எதிர்ப் பக்கம் திருப்பியும் வைக்க வேண்டும். வயலின் வில்லில் குதிரை முடிகள் அப்படித் தான் வைத்துக் கட்டப்பட்டுள்ளன. சுமார் 100 முடிகளைத் தேர்ந்தெடுத்து 50 முடிகளை ஒரு புறமாகவும், 50 முடிகளை எதிர்ப் புறமாகவும் வைத்து அடுக்கி ஒன்று சேர்த்தால் கம்பியின் தடிப்பு முற்றிலும் சீராக இருக்கும். அதை வில்லின் இரு நுனிகளிலும்

கட்டியிருக்கும் கம்பியின் புரிகளில் ரோஸனத் துகளைத் தடவிக் கம்பியை முறமுறப்பாக வைத்துக் கொள்ள வேண்டும். அப் பொழுது அது வயலின் கம்பிகளை நன்ருகத் தாக்கும்.

வில்லானது வயலின் கம்பிகளின் குறுக்கே இழுக்கப்படும் பொழுது, கம்பிகள் தங்களது நடுநிலையிலிருந்து பெயர்க்கப் படுகின்றன. இழுப்பதற்கு வேண்டிய விசை, கம்பிகள், வில்லின் புரிகள் இவற்றிற்குள்ள உராய்தலிலிருந்து உருவாகிறது. விசை இடப் பெயர்ச்சியுடன் நேர்விகிதத்திலிருப்பதால், இடப் பெயர்ச்சி அதிகரிக்க அதிகரிக்க விசையும் அதிகரித்துக்கொண்டே வரும். விசை பெரும நிலையை அடையும்பொழுது இடப் பெயர்ச்சியும் பெருமநிலை அடைகிறது. அதற்குமேல் இடப் பெயர்ச்சி அதிகரிக்க முடியாது. ஆகையால், பெரும எல்லையை இடப்பெயர்ச்சி அடைந்தவுடன், வயலின் கம்பிகள் வில்லின் இழுப்புத் திசைக்கு எதிர்த்திசையில் நழுவிவிடுகின்றன. மறு படியும் வில்லைப் பின் பக்கம் நகர்த்தி வயலின் கம்பியை முன் பக்கம் இழுக்க வேண்டும். வயலின் கம்பி முன் பக்கம் நகரும் போது வில்லுடன் வருகிறது. பின் பக்கம் நழுவும்பொழுது பாய்ந்து செல்கிறது. அதனுல் முன் பக்கம் நகரும்பொழுது கம்பி யின் வேகம் குறைவாயிருக்கும்; அப்பொழுது அதன் ஒப்பு வேகமும் குறைவாயிருக்கும். அதனுல் கம்பி முன் பக்கம் நகரும் போது செயல்படும் விசை, அது பின் பக்கம் பாயும்போது செயல் படும் சுணக்கவிசையைவிடப் பெரிதாகவிருக்கும். எனவே, கம்பிக்கு அளிக்கப்படும் ஆற்றல் அதனின்றும் வாங்கப்படும் ஆற்றலைவிட அதிகம். இந்த ஆற்றல் லாபமே வயலின் கம்பியின் அதிர்வைக் காக்கின்றது.

கேள்விகள்

1. இயல் அதிர்வுகள், திணிப்பதிர்வுகள், காப்பதிர்வுகள் என்ருல் என்ன? ஒவ்வொன்றுக்கும் இரண்டு உதாரணங்கள் தருக.

2. ஏதாவது ஒரு வகைக் காப்பதிர்வுகளை விளக்கி, அவை எப்படிக் காக்கப்படுகின்றன வென்பதையும் கூறுக.

3. இசைக்கவையின் அதிர்வுகள் மின்சாரத்தின் மூலம் எப்படிக் காக்கப்படுகின்றன வென்பதைப் படத்துடன் விளக்குக.

4. உணர்வுச் சுடர்களைப் பற்றி ஒரு கட்டுரை வரைக.

5. எலெக்ட்ரான் வால்வுகளை உபயோகித்து இசைக்கவை யின் அதிர்வுகளை எப்படிக் காக்கலாம்?

6. பின் வருவனவற்றைப்பற்றிக் குறிப்புரை எழுதுக.

(a) டிரவெல்யன் ராக்கர்

(b) பாடும் சுடர்

(c) ரிஜ்கேயின் காஸ் ஒலி

(d) டிண்டால் சுடர்கள்

(e) ராலே ஜெட்

(f) வயலின் வில்லின் செயல்

8. தொழில்நுட்ப ஒலியியல்

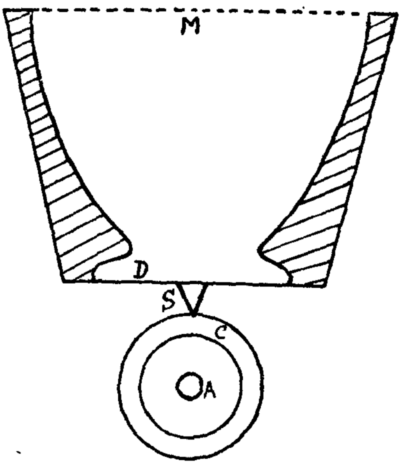
1. ஒலிப்பதிவும் ஒலி மீட்சியும் (Recording and reproduction of sound)

1. ஒலியைப் பதிவு செய்வதும், பதிவு செய்த ஒலியை மீண்டும் எழுப்பிக் கேட்பதும், தொழில்நுட்ப ஒலியியலில் ஒரு சிறந்த முன்னேற்றமென்ற காரணத்தால் அதை முதலில் இங்குக் கவனிப்போம். இக் காலத்தில் மக்கள் பலர் ட்ரான்ஸிஸ்டர்களையும், ஒலிப்பதிவுக் கருவிகளையும் எப்பொழுதும் கையிலேந்திக்கொண்டு செல்வதை நாம் கண்கூடாகக் காண்கின்றோம். அவரவர்களுக்குப் பிடித்தமான நிகழ்ச்சிகளை ஒலிப்பதிவு செய்து கொண்டு, பிறகு ஓய்வான நேரங்களில் அவற்றை மீண்டும் கேட்கின்றனர். அகில இந்திய வானொலி நிலையத்தில் கூட, இப்பொழுதெல்லாம் முக்கியமான நிகழ்ச்சிகள் நடக்கும் இடங்களுக்குச் சென்று அவற்றை ஒலிப்பதிவு செய்து கொண்டு பிறகு நிலையத்திலிருந்தே அவற்றை ஒலிபரப்புகின்றனர். ஏன்? வானொலி நிலையங்களில் நிகழும் நிகழ்ச்சிகள்கூட, பேசுவோரோ பாடுவோரோ பேசும்பொழுதோ அல்லது பாடும்பொழுதோ அவ்வப்பொழுது நேரடியாக ஒலிபரப்பப்படுவதில்லை. முன்னராகவே நிகழ்ச்சிகள் ஒலிப்பதிவு செய்யப்பட்டு, பிறகு அந்தந்தச் சமயங்களில் ஒலிபரப்பப்படுகின்றன. இம் முறைகளில் பல நன்மைகளுமுண்டு. நேரடியாகப் பேசும்பொழுது தவறுகள் ஏற்படலாம். பேசினால் பேசியதுதான். அப்பொழுதே அவை ஒலிபரப்பப்பட்டுவிடும். தவறுகளைத் திருத்துவதென்பது முடியாத காரியம். ஒலிப்பதிவு செய்து கொள்ளும் முறையில், தவறு இல்லாதவரை, திரும்பத்திரும்ப ஒலிப்பதிவு செய்து பார்த்து, ஒலிப்பதிவைச் சரியானதாகச் செய்து கொள்ள முடியும். மேலும், யாருடைய நிகழ்ச்சி ஒலிபரப்பப்படுகிறதோ அவர், நிகழ்ச்சியன்று குறிப்பிட்ட நேரத்தில் வானொலி நிலையத்திலிருக்க வேண்டிய அவசியமுமில்லை.

இந்த முன்னேற்றங்களெல்லாம் திடீரென ஏற்பட்டு விடவில்லை. நூற்றுண்டுகளுக்கு மேலாகப் பலப் பேரறிஞர்களால் மிகப்பிரயாசைப்பட்டு வளர்க்கப்பட்ட கலையாகும். முதன் முதலில்

1853 ஆம் ஆண்டில் ஸ்காட் (Scott) என்பவர், 'செயற்கைக் காது அல்லது ஃபோனுட்டோகிராஃப்,' என்னும் கருவியைச் செப்பனிட முற்பட்டார். ஆனால், 1865 ஆம் ஆண்டில்தான், கோனிங் (Koening) என்பவரின் உதவியைக் கொண்டு அக் கருவி உருப்பெற்றது. பிறகு 1876-ல் தாமஸ் ஆல்வா எடிஸன் (Thomas Alva Edison) தமது பிரசித்திபெற்ற ஃபோனுகிராஃப் என்னும் கருவியைக் கண்டுபிடித்தார். கெண்டிரிக் (Kendrick), பெல் (Bell) முதலியோரால் இது மேலும் திருத்தியமைக்கப்பட்டது.

2. ஃபோனுகிராஃபின் முக்கியமானதொரு பகுதி ஒரு புனல். இதன் வாய்ப்பகுதி *M* அகன்றும் பின்பகுதி *D* குறுகியும் இருக்கும். குறுகிய பக்கத்தை மைக்கா வினுலான இடைத்திரை (diaphragm) மூடிக்கொண்டிருக்கும். இதன் மையத்தில் *S* என்ற கூரிய எழுத்தாணி (stylus) ஒன்று பொருத்தப்பட்டுள்ளது. எழுத்தாணியின் முனை *C* என்ற மெழுகு உருளையின் மீது பதிந்துள்ளது. உருளை *A* என்ற திருகு அச்சைச் சுற்றிச் சுழலும். அச்சைத் திருகினுல், அது படத்திற்குச் செங்குத்தான திசையில் முன்னேறும்; அதே

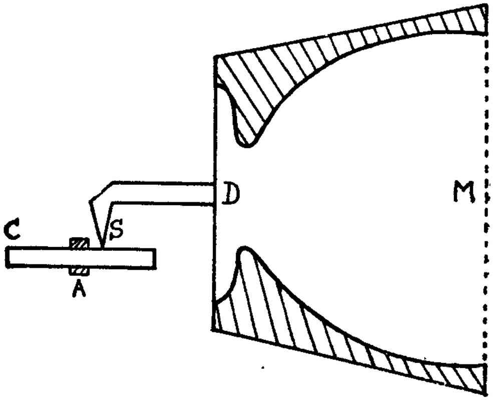


படம் 81

சமயத்தில் உருளையும் சுழலும். இந்த இரண்டு இயக்கங்களினுலும் எழுத்தாணி உருளையைச் சுற்றி ஒரு திருகு சுழல் (Helix) வளை கோட்டை வரைகிறது. இச் சமயத்தில் புனலுக்குள் பேசினுல், ஜவ்வு ஒலிக்குத் தகுந்தவாறு அதிர்வுறுகிறது. வளைகோட்டின் ஆழம் அதற்கேற்ப வேறுபட்டுக் கொண்டிருக்கும். இப் பதிவுக்குக் குன்றுக் குழிப் பதிவு (hill and dale recording) என்று பெயர்.

3. இதே முறையில் ஆராய்ச்சி செய்து, 1894 ஆம் ஆண்டில் பெர்லினர் (Berliner) என்பவர் கிராமஃபோன் (gramaphone) என்ற ஒரு கருவியை நிறுவினுர். எடிசன் கருவியில் உபயோகப் படுத்தப்பட்ட உருளைக்குப் பதிலாக இங்கு மெழுகுத் தட்டு (wax disc) பயன்படுத்தப்பட்டது (*C*). கருவி இயங்கும் பொழுது வில்லை சீரான வேகத்துடன் சுழலும்; எழுத்தாணி மையத்தை

நோக்கி மெதுவாக நகரும். எனவே, வில்லையின் மேல் ஒரு சுருள் கீறல் (spiral groove) கிழிக்கப்படும். இப்பொழுது புனலுக்குள் பேசினால் இடைத்திரை அதிர்வுறும். அப்பொழுது எழுத்தாணி

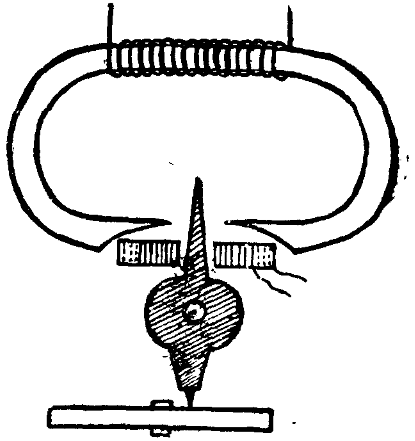


படம் 82

மேலும் கீழும் அசைவதற்குப் பதிலாகப் பக்கவாட்டில் வெவ்வேறு வீச்சுகளுடன் துடிக்கும். எனவே, வில்லையில் சுருள் கீறலுக்குப் பதிலாக, சுருள் அலை கீறல் (spiral wavy groove) ஒன்று வரையப்படும். இப் பதிவு பேச்சொலிக்குத் தகுந்தவாறு இருக்கும்.

ஒலிப்பதிவு செய்யப்பட்ட வில்லையிலிருந்து ஒலியை மீண்டும் எழுப்பலாம். ஆனால், வில்லை மெழுகினால் செய்யப்பட்டதாகையால் அதன் ஆயுள் குறுகியதாயிருக்கும். ஆகையால், இதை மூலப் பிரதியாக வைத்துக் கொண்டு நகல் பிரதியைத் தயாரிக்க வேண்டும். மூலப் பிரதியின் மீது கற்கரித் தூள்களைத் (graphite) தூவி, காப்பர் வோல்ட்டா மீட்டரில் எதிர்மின் வாயாகப் (cathode) பொருத்தி, மின்முலாம் பூசினால் (electroplating). மெழுகுப்பதிவின் மேல் தாமிரத்துகள்கள் சன்னமாகப் படியும். வேண்டிய கனத்திற்குப் படிந்தவுடன் பதிவிலிருந்து தாமிரம் உரித்து எடுக்கப்படும். மூலப் பிரதியிலிருப்பது போல் தாமிரத்திலும் கோடுகள் இருக்கும். ஆனால், மூலப் பிரதியில் மேடுகளிருக்கும் பகுதிகளில் தாமிரப் பிரதியில் பள்ளங்களும், மூலப் பிரதியில் பள்ளங்கள் இருக்கும் பகுதிகளில் தாமிரப் பிரதியில் மேடுகளும் இருக்கும். ஆகையால், தாமிரப்பிரதிக்கு நெகட்டிவ் (negative) என்று பெயர். இந்தத் தாமிரப் பிரதியை உபயோகித்து முன்போலவே மின்முலாம் பூசி மேலுமொரு தாமிரப் பிரதியைத் தயார் செய்கின்றனர். மூலப் பிரதி

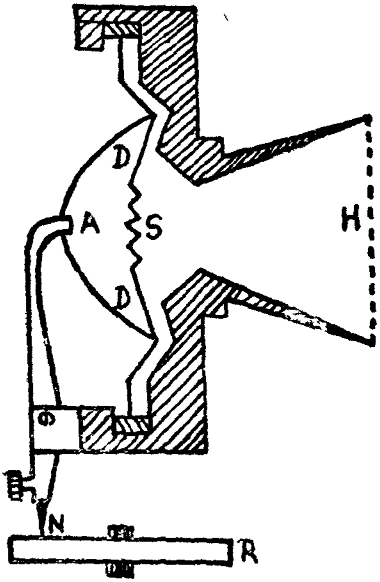
யிலிருப்பது போலவே இதிலும் மேடுபள்ளங்கள் அமையும். ஆகையால், இதிலிருந்தே பதிவு செய்த ஒலியை மீண்டும் பெற முடியும். இதற்குப் பாஸிடிவ் (positive) அல்லது தாய்க் கூடு (mother shell) என்று பெயர். இத்துடன் நில்லாமல், தாய்க்கூட்டை உபயோகித்து மேலும் ஒரு நெகட்டிவ் பிரதியைத் தயார் செய்கின்றனர். இதற்குத்தான் வார்ப்புரு (working matrix) என்று பெயர். இதைக் கொண்டுதான் இறுதியில் வெளிவரும் ஒலிப் பதிவு வட்டுகளைத் தயாரிக்கின்றனர். மேற்கூறப்பட்ட வார்ப்புரு, வட்டுருவின் ஒரு பக்கத்திற்குரியதாகும். இரண்டாவது பக்கத்திற்கும் ஒரு வார்ப்புருவைச் செய்து கொள்ள வேண்டும். இந்த வார்ப்புருவங்களிரண்டும், ஓர் அச்சு எந்திரத்தின் (hydraulic press) மேல் பக்கத்திற்கொன்றும் கீழ்ப்பக்கத்திற்கொன்றுமாக இணைக்கப்படுகின்றன. கடைசியாகப் பதிவு செய்யப்பட வேண்டிய பிளாஸ்டிக் பொருளைத் தள தளவென்று கொதிக்கும் நிலையில் அச்சு எந்திரத்தின் இடையே ஊற்றி இரண்டு பக்கங்களையும் சேர்த்து அமுக்கி, குளிர் நீரை மேலே ஊற்றிக் குளிரச்செய்து, விளிம்புகளை வட்டமாக நறுக்கி வெளியே யெடுத்தால் நாம் உபயோகிக்கும் கிராமஃபோன் இசைத்தட்டு வெளிவரும். இந்த முறையைத் திரும்பத் திரும்பக் கடைப்பிடித்து ஏராளமான இசைத்தட்டுகளைத் தயாரிக்கின்றனர். இப்பொழுதெல்லாம், ஒலிப்பதிவு மின்சார முறையில் செய்யப்படுகிறது. ஒலி முதலில் ஒரு மைக்ரோஃபோனின் முன் எழுப்பப்படுகிறது; ஒலி ஆற்றல் மின்சார ஆற்றலாக மாறுகிறது.



படம் 83

மின்சார ஓட்டம் ஒலிக்குத் தகுந்தாற்போல் மாறிக் கொண்டிருக்கும். மாறிக்கொண்டேயிருக்கும் மின்சார ஓட்டம் பெருக்கப்பட்டு ஒரு சுருள் வழியே ஓடுகின்றது. சுருளின் தளமும், ஒலிப் பதிவு செய்யப்பட வேண்டிய மெழுகு வில்லையின் தளமும் செங்குத்தாக விருக்கின்றன. மின்னோட்டம் ஓர் ஆர்மெச்சர் (armature) வழியே ஓடி அதில் குறுக்கலைகளை ஏற்படுத்துகின்றன. ஆர்மச்சரில் பொருத்தப்பட்டுள்ள எழுத்தாணி மெழுகுத் தட்டின்மேல் முன்போலவே சுருளலைக் கீறலை ஏற்படுத்துகிறது. இதுதான் மூலப் பிரதி. ஏனைய பிரதிகள் முன்போலவே தயாரிக்கப்படுகின்றன.

4. இசைத் தட்டிலிருந்து ஒலியை மறுபடியும் எழுப்ப கிராமஃபோன் பெட்டியிலிருக்கும் விற்சுருள் (spring) பயன் படுத்தப்படுகிறது. முதலில் சாவி கொடுக்கும்பொழுது விற் சுருள் முறுக்கம் பெறுகின்றது. தட்டுச் சுற்றும்பொழுது விற் சுருள் மெதுவாகத் தளர்ந்து அந்த ஆற்றலில் ஓடுகின்றது. ஒலி அதிகமாகக் கேட்கும் பொருட்டு ஒலிப் பெட்டி (sound box) ஒன்று உபயோகிக்கப்படுகிறது. பெட்டியின் பின்பக்கத்தில் DSD என்ற இடைத்திரை சேர்க்கப்பட்டிருக்கிறது. ஜவ்விற்கு முன் ஒரு காற்றறையும் பின் புனலும் H) இருக்கின்றன. ஒலிப்பெட்டியின் அடிப்பாகத்திலுள்ள எழுத்தாணி இசைத் தட்டின் மீது படிந்திருக்கிறது. இசைத் தட்டுச் சுற்றும்பொழுது அதன் மேலுள்ள அலைக் கீறல்களின் வழியே எழுத்தாணி பக்கவாட்டில் நகர்கிறது. ஆணியின் இயக்கம் நெம்புகோலொன்றால் பெருக்கப்பட்டு காற்றறை A-யின் வழியாக இடைத்திரைக்கு அனுப்பப்படுகின்றது. அதன் இயக்கம் புனலிலுள்ள காற்றில் ஒலி அலைகளை எழுப்புகின்றது. பதிவு செய்யப்பட்ட ஒலி குணம் மாறாமல் பிரதிபலிக்கப்படுகிறது. இப்பொழுதெல்லாம் பதிவு செய்யப்பட்ட ஒலி மின்விசையால் பிரதிபலிக்கப்படுகிறது இசைத்தட்டிலுள்ள சுருள் அலைக்கீறலில் இயங்கும் எழுத்தாணியின் அதிர்வுகள் ஒரு மின்சுருளில் (coil) மாறுபடும் மாறுதிசை மின்னோட்டத்தை (alternating current) உண்டாக்குகிறது மின்சுருள் ஒரு காந்தப் புலனில் வைக்கப் பட்டுள்ளது. மாறுதிசை மின்னோட்டம் ஒரு ஒலிபெருக்கியில் நுழைந்து ஒலியாக மாறுகிறது.

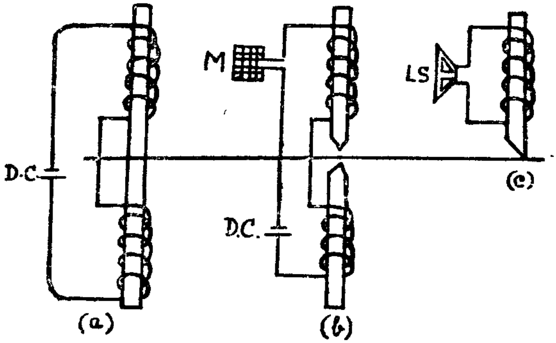


படம் 84

5. காந்த நாடா (கம்பி) ஒலிப்பதிவு (Magnetic Tape Recording)

1900ஆம் ஆண்டு டென்மார்க் நாட்டுப் பேரறிஞர் வால்டிமார் பூல்சென் (Voldemar Puolsen) என்பவர், காந்தப் பண்புகளைப் பயன்படுத்தி ஒரு புது முறை ஒலிப்பதிவைக் கண்டுபிடித்தார். இம்முறை 'காந்த ஒலிப்பதிவு,' எனப்படும். இது சென்ற 70

ஆண்டுகளில் நன்கு திருத்தமடைந்து வளர்ந்து இன்று எல்லோ ராலும் சிறப்புற உபயோகப்படுத்தப்பட்டு வருகிறது. இக் காலத் தில் ஒலியானது ஓர் எஃகு கம்பியிலோ நாடாவிலோ அல்லது வைனிலைட் (vinylite) எனப்படும் பிளாஸ்டிக் நாடாவிலோ பதிவு செய்யப்படுகிறது. முதன் முதலில் பிளாஸ்டிக் நாடாவிற் குள் குறுக்கு வாட்டத்தில் ஃபெர்ரோ காந்தத்துகள்கள் திணிக் கப்படுகின்றன. இத் துகள்களுக்கு எச்சக் காந்தமும் (remanance),



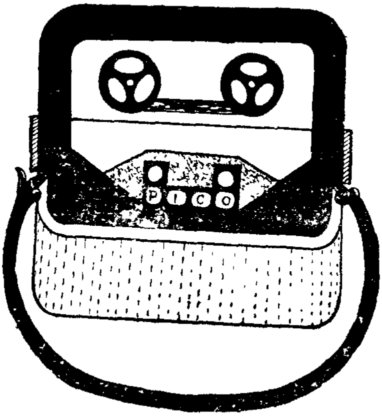
படம் 85

காந்த நீக்குதிறனும் (coercivity) அதிகமிருத்தல் வேண்டும். ஒலிப் பதிவு செய்யும் கருவியில் மூன்று முக்கிய பாகங்களிருக்கின்றன. (1) அழிக்கும் கருவி (wipping device), (2) பதிவு செய்யும் கருவி (recording head), (3) பிரதிபலிக்கும் கருவி (reproducing head). அழிக்கும் கருவி என்பது ஒரு மின்காந்தந்தான். பதிவு செய்யும் கருவி என்பதும் ஒரு மின்காந்தந்தான். ஆனால், இத்துடன் ஒரு மைக்ரோபோன் இணைக்கப்பட்டுள்ளது. ஒலியைப் பிரதிபலிக்கும் மூன்றாவது பாகம் ஒரு காந்த முனைத் துண்டா லானது (pole piece). இதைச் சுற்றிக்கொண்டு ஒரு மின்கம்பிச் சுருள் இருக்கிறது, கம்பிச் சுருளுடன் ஓர் ஒலிபெருக்கியும் இணைக் கப்பட்டுள்ளது.

முதல் மின் காந்தத்தின் சுருள் வழியே நேர்த்திசை மின் னோட்டத்தைச் செலுத்தி (direct current), மின் காந்த முனை களின் வழியே பிளாஸ்டிக் நாடாவைச் சீரான வேகத்துடன் ஓட்டினால், நாடாவில் தெவிட்டுநிலை (saturation) வரை காந்த மேற்றப்படுகிறது. காந்த மேற்றப்பட்ட நாடா தொடர்ந்து ஒலிப்பதிவு செய்யும் மின் காந்தத்தின் முனைகளுக்கிடையில் செல்லுகிறது. அப்பொழுது மைக்ரோஃபோனின் முன் ஒலியை யெழுப்பினால், ஒலியாற்றல் மின்னாற்றலாக மாறி, மாறு திசை மின்னோட்டமாக (alternating current) மின்காந்தச் சுருள் வழி

யாக ஓடுகிறது. அதே சமயத்தில் அதே சுருள் வழியாக ஒரு மின்கலத்திலிருந்து காந்தத்தை அழிக்கும் (demagnetising) நேர்த் திசை மின்னோட்டமும் செல்கின்றது. ஆகையால், மைக்ரோஃபோனின் முன் எழுப்பப்படும் ஒலிக்குத் தகுந்தாற்போல், நாடாவிலுள்ள தெவிட்டு நிலைக் காந்தம் குறைக்கப்படுகிறது. இந்த நிலையில் நாடாவில் ஒலிப்பதிவு செய்யப்பட்டுவிட்டது என்று கூறலாம். எழுப்பப்பட்ட ஒலியைத் தாங்கிச் செல்லும் நாடா அதே வேகத்துடன் அதே திசையில் மூன்றாவது பாகமாகிய காந்தத்துண்டின் நுனிவழியாக இழுக்கப்படும்பொழுது காந்தச்சுருளின் வழியே மின்னழுத்தமும், அதனால் மின்னோட்டமுமுண்டாகிறது. இம் மின்னோட்டமானது பெருக்கப்பட்டு ஒலி பெருக்கியின் வழியே செல்லும்பொழுது, மைக்ரோஃபோனில் எழுப்பப்பட்ட ஒலி பண்புமாறாமல் பிரதிபலிக்கப்படுகிறது.

பதிவு செய்யும் பகுதியிலுள்ள மின்காந்தத்தின் இருமுனைகளும் நேருக்கு நேராக இல்லாமல் (படம் 84) சற்றுத் தள்ளியிருக்கின்றன. இவை நேருக்கு நேரே இருந்தால், மேல்சுருதிகளில் ஒலி பிரதிபலிக்கப்படும்பொழுது, மின்காந்தச் சுருளில் ஊட்டப்படும் மின்னழுத்தம், அளவிற்கு மீறிப்போய் பிரதிபலிப்பைப் பெருமளவில் பாதிக்கும். மேலும் நாடாவின் காந்தப் பண்புகள் சீராக இல்லாமலிருந்தால் பின்னணிக் கூச்சல்கள் அதிகமாகவிருக்கும். அவற்றைக் குறைக்க பிரத்தியேக முறையைக் கையாள வேண்டும்.



படம் 86

ஒலிப்பதிவு செய்யப்பட்ட நாடாவைக் கண்டுகளில் சுற்றிப் பாதுகாப்பாக வைத்து விடலாம். அது தேய்வதில்லை; பதிவான ஒலியும் நீண்ட நாளைக்கு மங்காமலும் தெளிவாகவும் இருக்கும். பதிவு செய்யப்பட்ட ஒலி தேவையில்லையென்று படும்பொழுது அதை அழித்துவிட்டு, மீண்டும் அதே நாடாவில் வேறு ஒலியைப் பதிவு செய்து கொள்ளலாம். நாடாவை ஒலிப்பதிவுக் கருவியின் முதல் பாகமான அழிக்கும் கருவி வழியே செலுத்தினால், ஒலிப் பதிவு அழிந்துவிடும். அல்லது முதல் ஒலிப்பதிவின்மீது மறுமுறை வேறு ஒலியைப் பதிவு செய்தாலும், முதற்பதிவு தன்னாலே அழிந்துவிடும்.

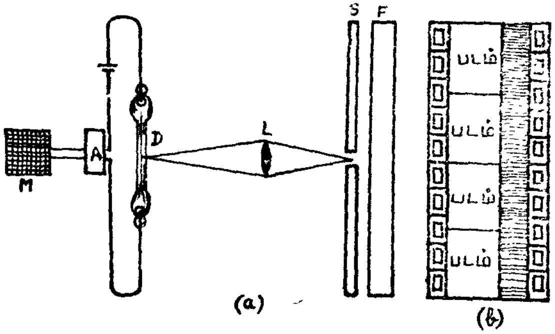
6. (a) திரைப்பட ஒலிப்பதிவு (Film Sound Recording)

வெகுநாள் வரை சினிமாவில் மௌனப் படங்களே காண்பிக்கப்பட்டு வந்தன. தாமஸ் ஆல்வா எடிசனின் உதவியாளராகிய டிக்ஸன் (Dickson) தான் முதன்முதலில் பேசும் படத்தைக் காண்பித்தவர். இசைத் தட்டையும் மௌனப் படத்தையும் சேர்த்துப் பேசும் படத்தைக் காட்டினர். இவ் விரண்டையும் சேர்ப்பதில் பல தொல்லைகளிருந்தன. படமும் இசைத் தட்டும் ஒரே வேகத்துடன் ஆரம்ப முதல் முடிவு வரை ஓடினாலன்றிப் பேசும் படம் திருப்தியளிப்பதில்லை. இரண்டும் லயப்படாவிட்டால் படத்தில் வாய் மூடியிருக்கும் தோற்றமும், இசைத் தட்டில் அதே சமயத்தில் பாடல்கள் கேட்பதும் போன்ற தவறுகள் அடிக்கடி நிகழும். மேலும், இரண்டும் ஒரே வேகத்தில் ஓடிக்கொண்டிருந்தாலும் ஏதாவதொரு காரணத்தால் படச் சுருள் அறுந்துபோய்விடின் பெருங்குழப்ப முண்டாகும். இத் தொல்லைகளின் காரணமாக இம் முறையைக் கைவிட்டு, படத்திலேயே தோற்றத்துடன் ஒலியையும் சேர்த்துப் பதிவு செய்து திரையிடும் வழியைக் கண்டனர்.

ஒளியும், ஒலியும் ஸெல்லுலாய்டாலான (celluloid) மென் தாளில் பதிவு செய்யப்படுகின்றன. ஒளி, தாளின் மையத்தில் 0·9 பகுதியை அடைத்துக் கொண்டிருக்கும். ஒலி 0·1 பகுதி அகலத்தில் குறுகியபடி பக்கத்தில் பதிவு செய்யப்பட்டிருக்கும். ஒலிப்பதிவு இப்பொழுது இரண்டு முறைகளில் செய்யப்படுகிறது ஒன்றிற்கு மாறுபடும் அடர்த்தி முறை (variable density method) என்றும் மற்றொன்றிற்கு மாறுபடும் பரப்பு (variable width or area) முறை என்றும் பெயர்.

(i) மாறுபடும் அடர்த்திமுறை: இம் முறை ருஹ்மர் (Ruhmer) என்பவரால் அமைக்கப்பட்டது. பதிவாக வேண்டிய ஒலி ஒரு மைக்ரோஃபோனில் பட்டு, அதன் இடைத்திரையை அதிர்வுறச் செய்கின்றது. இதனால் மைக்ரோஃபோன் சுற்றிலோடும் மின்னோட்டத்தில் மாற்ற மேற்படுகிறது. மாறுபாடும் இம் மின்னோட்டம் குறைந்த அழுத்தமுள்ள (low pressure) மந்த வாயுக்கள் நிறைந்த (inert gases) மின்னிறக்கக் குழாயை (discharge tube) இயக்கும் மின் சுற்றுக்குள் அனுப்பப்படுகிறது. எனவே, ஒலிக்கேற்றாற்போல் விளக்கிலிருந்து வரும் ஒளியின் பிரகாசம் மாறுதலடையும். இவ் வொளி ஒரு குவி வில்லையி னுதவியால் இடைமட்டமாயும் மாறாத அகலமுள்ள ஒரு குறுகிய செவ்வகத் துளையில் குவிகின்றது. துளையின் பின்புறம் படம் பிடிக்கப்பட்ட மென்தாள் சீரான வேகத்துடன் மேலிருந்து கீழ் நகர்த்தப்படு

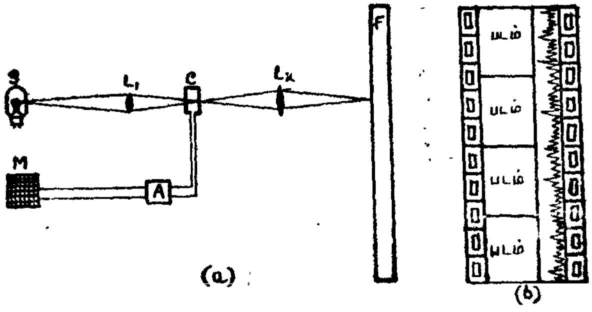
கிறது. எனவே, ஒளியாக மாறிய ஒலி, துளை வழியே சென்று, நகர்ந்து கொண்டிருக்கும் மென் தாளில் கிடைமட்டக் கோடு களாகப் பதிவாகிறது. இக் கோடுகள் அடுத்தடுத்து ஒன்றின் கீழ்



படம் 87

ஒன்ருகவும் ஒலிக்குத் தகுந்தாற்போல் ஒரு கோடு பளிச்சென்றும், மற்றொன்று இருண்டும் இருக்கும். இவ் வொலிப் பதிவுப் படம் 87 (b)-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.

(ii) மாறுபடும் பரப்புமுறை: முன்போல் விளக்கின் பிரகாசத்தை மாற்ருமல், துளையின் அகலத்தை மாற்றிஞல் மென் தாளில் பதிவாகும் ஒலியின் அகலம் ஒலிக்குத் தகுந்தாற்போல் மாறும். அதனுல்தான் இம் முறைக்கு 'மாறுபடும் பரப்புமுறை,' எனப் பெயர் வந்தது. டியூரலியக் (duralium) கம்பியைக் கொண்டு ஒரு சிறிய வளையத்தைச் (c) செய்து, வலிவான காந்தப்புலமொன்றுக்குச் செங்குத்தான திசையில் அதை



படம் 88

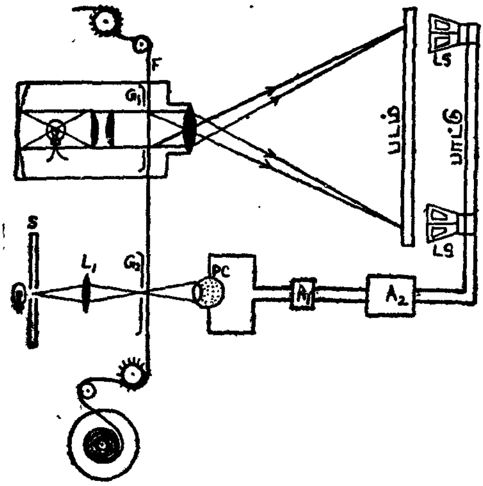
அமைக்க வேண்டும். S என்ற விளக்கிலிருந்து எழும் ஒளியை முதலில் L_1 என்ற குவிவில்லையால் வளையத்தின் மீது குவியச் செய்ய வேண்டும். ஒளியின் பரப்பு வளையத்தின் பரப்

புக்குச் சமமாக இருக்கும். பிறகு L_2 என்ற குவிவில்லையைக் கொண்டு வளைய ஒளி, படம் பிடிக்கப்பட்ட மென்தாளின் மீது விழுகிறது. வளையம், மின் பெருக்கி (A), மைக்ரோஃபோன் (M) இம் மூன்றும் ஒரு மின் சுற்றில் இணைக்கப்பட்டுள்ளன. மைக்ரோஃபோன்முன் எழுப்பப்படும் ஒலி, மின்னோட்டமாக மாறி, மின் பெருக்கியில் பெருக்கப்பட்டு வளை கம்பிக்குள் நுழைகிறது. இப்பொழுது வளை கம்பி மின்புலனாலும், காந்தப் புலனாலும் இயக்கப்பட்டு மூடி மூடித் திறக்கின்றது. வளை துளையின் பரப்பு எழுப்பப்படும் ஒலிக்கேற்றாற்போல் மாறுதலடையும். எனவே, ஒளிக்குக் காட்டப்படும் மென்தாள் பாதையின் பரப்பும் ஒலிக் கேற்றாற்போலிருக்கும். ஆகையால், மென்தாளில் பதியும் ஒலியின் பரப்பும் தொடர்ந்து மாறினதாக விருக்கும்.

மேற்கூறிய இரண்டு முறைகளிலுமே படமும், ஒலியும் வெவ்வேறு மென்தாள்களின்மீது பதிவு செய்யப்பட்டு, பிறகு நேர்ப் பதிவில் (positive print) ஒன்றாக இணைக்கப்படுகின்றன.

(b) திரைப்பட ஒலிப் பிரதிபலிப்பு (Film sound reproduction)

படமும் ஒலியும் பதிவு செய்யப்பட்ட மென்தாள் மேலிருந்து கீழாகச் சீரான வேகத்துடன் ஓட்டப்படுகிறது; வலிவான ஒளிக் கற்றையொன்று ஒலிப்பாதையின் மீது குவியச்செய்யப்படுகிறது. மென்தாள் வழியாக வெளியேறும் ஒளி ஓர் ஒளி மின்கலத்தின்



படம் 89

மீது படுகிறது. அப்பொழுது ஒளி மின்னோட்டம் (photo electric current) உருவாகி, பெருக்கப்பட்டு, ஓர் ஒலிபெருக்கி இயங்கி

ஒலியாக மாறுகிறது. படம் 89-ல், L என்பது ஒரு வலிவான விளக்கொளி. L_1, L_2 என்பன இரண்டு குவிவில்லைகள். S என்பது குறுகிய துளை. C என்பது ஓர் ஒளி மின்கலம் (photo electric cell), A என்பது மின் பெருக்கி. LS I, LS II என்பன திரையின் பின் வைக்கப்பட்டிருக்கும் இரண்டு ஒலிபெருக்கிகள். ஒளி மின்கலத்திலிருந்து புறப்படும் மின்னோட்டம் ஒலிப்பாதையின் (sound track) பரப்பிற்கோ, அடர்த்திக்கோ ஏற்றாற்போலிருக்கும். இம் மின்னோட்டம் எலெட்ரான் வால்வுகளினால் பெருக்கப்பட்டு, ஒலிபெருக்கிகளில் நுழைந்து பதிவான ஒலியை எழுப்புகின்றது. அதே சமயத்தில் திரையில் படமும் விழுகின்றது. படமும் ஒலியும் ஒருங்கிணைந்திருக்கும். ஒலிபெருக்கிகள் திரைக்குப் பின்னிருந்தால், படங்களிலிருந்தே ஒலி வருவது போன்ற தோற்ற மேற்படும்.

II கட்டட ஒலியியல் (Acoustics of Buildings)

1. கட்டடங்கள் பல காரியங்களுக்காக நிர்மாணிக்கப்படு கின்றன. மக்கள் வாழ்வதற்கும், அலுவலகங்கள் நடத்துவதற்கும், கல்விக் கூடங்களுக்கும் கட்டடங்கள் தேவைப்படுகின்றன ; அது போலவே பாராளு மன்றங்களும், சட்டசபைகளும், கேளிக்கைக் கூடங்களும், பேசும்பட நிலையங்களும், சங்கீத சபாக்களும், நாடக மேடைகளும், ரேடியோ நிலையங்களும் கட்டப்படுகின்றன. இப் பல்வேறு கட்டடங்களுக்கும் அவற்றின் செயல்பாட்டிற்கேற்றாற் போல் ஒலியியல் தேவைகள் மாறுபடலாம். எனவே, கட்டடங் களின் தேவைகள் என்ன ? எவ்வாறு கட்டப்பட்டால் அவை சிறந்த கட்டடங்களாகவும், கலையரங்குகளாகவும், மணி மண்ட பங்களாகவும் விளங்குமென்பதை இங்குக் கவனிப்போம்.

பொதுவாக இசைக் கூடங்களிலும் கலையரங்குகளிலும் நாம் காணும் குறைகள் (1) அளவுக்கு மீறிய எதிர் முழக்கம் (reverberation), (2) துன்புறுத்தும் எதிரொலிகள் (echoes), (3) ஒவ் வாத ஒத்திசைவுகள், (4) வேண்டாத குறுக்கீடுகள் (interference) முதலியனவாகும் இக் குறைகளின் காரணங்களைக் கண்டு அவற்றை நீக்குவதற்கு முயற்சிகள் செய்யப்பட்டு வந்திருக்கின்றன. அப்படியிருந்தும் குறைகள் பின்னும் இருந்து வந்திருக்கின்றன. ஆனால், இப்பொழுது கட்டடப் பொருள்களின் ஒலி உட்கவர் (absorption) குணங்களும், ஒலி காப்புக் (insulation) குணங்களும் சரிவர அளக்கப்படுவதாலும், நுட்பமான ஆய்வுகளின் மூலம் செயல்முறை விதிகளை நிர்ணயிக்க முடிவதாலும், கட்டடங்களைக் கட்டுவதற்கு முன்னரே அவற்றின் அமைப்பையும் சிறப்பையும் திட்டமிட முடியும்.

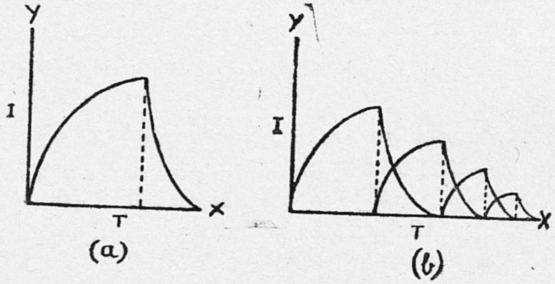
இது சம்பந்தமாக விஞ்ஞான வழியில் ஆழ்ந்த ஆராய்ச்சி செய்தவர் அமெரிக்க நாட்டு ஸபைன் (Sabine) என்ற பேரறிஞராவார். ஒரு கட்டடம் சிறப்பாக அமைவதற்கு வேண்டிய முக்கியத் தேவைகள் யாவை என்பதை அவர் நன்றாக விளக்கியுள்ளார். அவையாவன: (1) கட்டடத்தின் ஒவ்வொரு பாகத்திலும் ஒலி வேண்டிய அளவு உரப்பாக இருக்க வேண்டும். (2) ஒலியின் பண்பு மாறாதிருத்தல் வேண்டும். (3) அடுத்தடுத்து வரும் பேச்சொலிகள் தனித்தனியே யிருக்கவேண்டும்; ஒன்றோடொன்றும் வெளிக் கூச்சல்களுடனும் அவை கலக்கக் கூடாது. (4) ஒலி தொடர்ந்து கேட்பதற்கு வேண்டிய அளவிற்கு மேல் எதிரொலிகள் இருக்கக் கூடாது. (5) கட்டடத்தின் எந்தப் பகுதியிலும் ஒலி குவிதலும் (focussing) ஒலி குறைதலும் அதிகமாக இருக்கக் கூடாது. (6) கட்டடத்திலுள்ள எப் பொருளாலும் பேச்சொலிகள் பலப்படுத்தப்படக்கூடாது. கட்டடங்கள் எந்தெந்தக் காரணங்களுக்காகக் கட்டப்படுகின்றனவோ அந்தந்தக் காரணங்களுக்குத் தக்கவாறு மேற்கூறிய நிபந்தனைகள் தேவைப்படும். எனவே, எல்லாக் கட்டடங்களுக்குமே எல்லா நிபந்தனைகளும் தேவைப்படாமல் இருக்கலாம். ஆனால், எக் காரணத்திற்காகக் கட்டடங்கள் கட்டப்பட்டாலும், அவற்றிற்கு ஒரு சில நிபந்தனைகளாவது தேவைப்படும் என்பதில் ஐயமில்லை.

இச் சமயத்திலே நம்நாட்டுப் பழங்காலக் கலைஞர்களை நினைவு கூர்வது அவசியம். பல்லவ நாட்டுச் சிற்பிகள் காஞ்சி மன்னர்களுக்குப் பல கலையரங்குகள் கட்டியுள்ளனர். தஞ்சையிலுள்ள சங்கீத மஹாலும் (Sangeetha Mahal) நம் நாட்டிலுள்ள மிகச் சிறந்த அரங்குகளில் ஒன்று. அதைத் திட்டமிட்டுக் கட்டினோரும் சிறந்த கலைஞர்கள் தான். கூரை தாழ்ந்திருக்க வேண்டுமென்றும், சுவர்கள் சுரசுரப்பாக இருக்க வேண்டுமென்றும், மேலே கூரையும் கீழே தரையும் வழவழப்பாக இருக்க வேண்டுமென்றும், அவர்கள் அக்காலத்திலேயே கண்டிருந்தனர். நமது சிற்ப சாஸ்திரங்களில் இக் கலையைப்பற்றி விரிவான விளக்கங்கள் தரப்பட்டுள்ளன. இப்பொழுது மேனாட்டு விஞ்ஞானிகள் கண்டுள்ள உண்மைகளை நமது முன்னோர்கள் ஆயிரம் ஆண்டுகளுக்கு முன்னரே அறிந்திருந்தனர்.

இப்பொழுது எதிர் முழக்கம், எதிரொலி, ஒத்திசைவு, குறுக்கீடு இவற்றால் ஏற்படும் இடர்ப்பாடுகளையும், அவற்றை வேண்டிய அளவு நீக்கிக் கட்டடங்களின் ஒலியியலை எப்படி உயர்த்தலாமென்றும் காண்போம்.

2. எதிர் முழக்கம்: ஓர் இடத்தில் எழுப்பப்படும் ஒலி எல்லாத் திசைகளிலும் பரவுகிறது. பிரதிபலிக்கும் பொருள்கள் அரங்கில் இல்லாவிடில் ஒலி நன்ருகக் கேட்கும். ஆனுல், பொதுவாக ஒலித்துடிப்புகள் (pulses) பலமுறை பிரதிபலிக்கப்படுகின்றன. எனவே, வீச்சுகள் குறைந்து கொண்டே வரும் அலைகள் தொடராகக் காதில் விழுந்து, இறுதியில் கூரை, காற்று, சுவர் இவற்றின் உராய்வுகளினுல் அடங்கிவிடுகின்றன. இதன் விளைவு முதல் துடிப்புக் கேட்டவுடன், ஒலி புரண்டு சிறிது நேரம் செவியில் பதிந்து பிறகு கேள்வி யெல்லைக்குக் கீழே விழுந்து அழிந்துவிடுகிறது. இதற்குத்தான் எதிர் முழக்கம் (reverberation) என்று பெயர். இக் குழப்பம் கலைவதற்கு எடுக்கப்படும் நேரம், எதிர் முழக்க நேரம் (time of reverberation) எனப்படும்.

ஒலித் துடிப்புகள் தொடர்ந்து எழுப்பப்பட்டுக்கொண்டேயிருந்தால், ஒலி ஆற்றல் வெளிவரும். அதே சமயத்தில் மேலே கூறியதுபோல் ஒலி ஆற்றல் சேதமும் அடைகிறது. ஒரு கட்டத்தில் உருவாகும் ஆற்றலும், சேதப்படும் ஆற்றலும் சமமாகிக்



படம் 90

கேட்கும் ஒலி ஒரு நிதான நிலையை அடைகிறது. இப்பொழுது ஒலியை நிறுத்தி விட்டால், ஒலிச்செறிவு படம் 90 (a)-ல் காட்டியிருப்பதுபோல் சரிந்துவிடுகிறது. அல்லாமல், பல ஒலித் துடிப்புகள் தொடர்ச்சியாக அனுப்பப்பட்டால், அதன் விளைவு படம் 90 (b)-யிலிருப்பதுபோல் இருக்கும். எப்படியிருப்பினும், ஓர் ஒலித்துடிப்பு அழிவது அடுத்தத் துடிப்பு கிளம்புவதற்கு இடையூருக இருப்பதில்லை. ஒலி கேட்க முடியாத நிலைக்கு அடங்குவதற்குள் சுமார் 250 பிரதிபலிப்புகள் நிகழ்வதாகக் கணக்கிடப்பட்டுள்ளது. ஒலியின் வேகம் விநாடிக்கு 1100 அடிகள் என்று வைத்துக்கொண்டு எதிர் முழக்க நேரத்தை ஸபைன் கண்டுபிடித்தார். அதன்படி, V = அரங்கின் பருமன், a = கட்டடப் பொருள்களின் உட்கவர் எண் (absorption coefficient), S = கட்டடத்தின் பரப்பளவு, T = எதிர்முழக்க நேரமென்ருல்,

$$T = 0{\cdot}05\frac{V}{aS}$$

மேலும், ஒலி எங்கு எழுப்பப்பட்டாலும், கேட்பவர் எங்கிருந்தாலும் எதிர் முழக்க நேரம் மாறுவதில்லையென்றும், உட்கவர் பொருளை எங்கு வைத்தாலும் எதிர் முழக்க நேரமும் ஓரளவில் தான் குறைந்தது என்றும் காணப்பட்டது. திறந்த ஜன்னலை, உட்கவர்தலை அளப்பதற்கு அலகாகக் கொண்டு, பிற பொருள்களின் உட்கவர் எண்களை அளந்தார். அதன்படி பொருள்களின் உட்கவர் எண், திறந்த ஜன்னலுக்கு 1·00-லிருந்து, கண்ணாடி போன்ற கடினப் பொருள்களுக்கு 0·01 வரை மாறுவதாகக் கண்டுபிடித்தார். அதுபோலவே அரங்கிலுள்ள ஒவ்வொருவரும் 4·5 ச. அடி திறந்த ஜன்னலுக்குச் சமமென்றும் தெரியவந்தது.

பேச்சொலிக்கோ இசையொலிக்கோ ஓர் அளவு எதிர் முழக்கம் அவசியமாகும். இவ்வெதிர் முழக்கம் எவ்வளவு வேண்டுமென்பதை அறிய வெவ்வேறு அளவுகளுடைய பல அறைகளில் சோதனை நடத்தப்பட்டது. அறையின் பருமனுக்கும், ஒலியின் பண்புக்கும் தக்கவாறு எதிர் முழக்க நேரம் மாறுதலடைந்தது என்று தெரிய வந்தது. பொதுவாக, எதிர் முழக்க நேரம் 1·0 விநாடியிலிருந்து 2·5 விநாடிகள்வரை இருப்பதாகத் தெரிய வந்தது.

அரங்குகளிலுள்ள எதிர் முழக்கத்தின் மிகையையோ அல்லது குறையையோ ஈடு செய்யத் தகுந்த எதிர்முழக்கத்தைத் தணிக்கும் பொருள்களைப் பயன்படுத்தவேண்டும். அவை ஒலியைக் குறைவாகப் பிரதிபலித்து வெகுவாக உட்கவர வேண்டும். சில சமயங்களில் கம்பிகளை அறையின் குறுக்கே கட்டுவதுண்டு. ஒலியால் அவை அதிர்வுற்று ஒரு பகுதியை உட்கவர்ந்து எதிர் முழக்கத்தைக் குறைக்கின்றன. உட்கவரும் பொருள்களை வேண்டிய அளவு கட்டடத்தில் சேர்த்தோ அல்லது குறைத்தோ எதிர் முழக்கத்தைச் சரிசெய்வது மரபு. பெரும்பாலும், அஸ்பெஸ்டாஸ் (asbestos), தக்கை, நெட்டி, ஸெலொடெக்ஸ் (celotex) முதலிய நுண் துளைகளுள்ள ஓடுகளையும் சாந்துகளையும் பிரத்தியேக முறைகளில் தயார் செய்து எதிர் முழக்கத்தைக் கட்டுப்படுத்துவார்கள்.

3. ஒலி குவிதல்: கட்டடங்களில் தளங்களும் பரப்புகளும் வழவழப்பாக இருந்தால் அவை ஒலியைக் குறிப்பிட்ட திசைகளில் குவிக்கின்றன. அதனால் ஒலிச் செறிவில் பாலைகளும் சோலைகளும் ஏற்படுகின்றன. இதனால் கேட்போருக்கு வெறுப்பு ஏற்படும்.

இதைத் தவிர்க்க வேண்டுமாயின் பிரதிபலிப்பையும் அதனாலேற்படும் ஒலிக் குவிதலையும் நீக்க வேண்டும். தளங்களை, பிரதிபலிக்காத பொருள்களைக் கொண்டு நிரப்பலாம். அல்லது அலங்காரங்களினாலும், பரப்பிலுள்ள புடைப்புகளினாலும் வழவழப்பைத் தவிர்க்கலாம்.

4. ஒத்திசைவும் குறுக்கீடும்: இவ்விரண்டு நிகழ்ச்சிகளும் கட்டடங்களை அதிகம் பாதிப்பதில்லை. இருந்தபோதிலும், ஒலி அதிக வலிவுள்ளதாக இருக்கும்பொழுது ஒத்திசைவு அதிர்வுகள் ஏற்பட்டு இனிமையற்ற உணர்வுகளை யுண்டாக்குவதுண்டு. சுவர்களிலும் கூரைகளிலுமுள்ள மறைவிடங்கள், இடுக்குகள், தொங்கும் தோரணங்கள் முதலியன சில ஒலிகளைப் பெருக்கி அவற்றுடன் ஒத்திசைக்கின்றன. ஒத்திசையும் அதிர்வுகள் எப்பொழுதுமே மூல ஒலிகளினின்றும் சுருதி மாறி விளங்கும். கூடுமானவரை இவற்றைத் தவிர்க்க வேண்டும்; அல்லது தணிக்கவாவது வேண்டும். ஒத்திசையும் பரப்புகளை மூடி மறைத்துப் பாதகமான விளைவுகளை நீக்கலாம்.

நிலையான சுருதிகளுடைய ஒலிகளை யெழுப்பும்பொழுது சில சமயங்களில் குறுக்கீட்டுப் பாங்கங்கள் (interference patterns) அமைகின்றன. அப்பொழுது பல இடங்களிலும் ஒலிச்செறிவில் பெருமமும் சிறுமமும் ஏற்பட்டு ஒலியியலுக்குப் பங்கம் விளைவிக்கின்றன. இவற்றைத் தடுக்க வேண்டுமாயின் கட்டடங்களின் மூலை முடுக்குகளை வழவழப்பும் பளபளப்பும் இல்லாமல் செய்ய வேண்டும்.

5. எதிரொலிகள்: எழுப்பப்படும் ஒலி தூரத்திலுள்ள சுவர்களிலும் ஏனைய பரப்புகளிலும் பட்டுப் பிரதிபலித்து, முதலொலி அடக்கியவுடன் வந்து சேருவதற்குத்தான் எதிரொலி என்று பெயர். பெரிய அரங்குகளில் தான் இவை அதிகத் தொல்லை கொடுக்கும். சுவர்களைச் சுரசுரப்பாகவும், வெளிப்பக்கம் சாய்ந்திருக்கும்படியும் செய்து பிரதிபலிக்கும் ஒலிகளைப் பல திசைகளிலும் திருப்பி எதிரொலியை முற்றிலும் தவிர்க்கலாம். மேலும் அரங்கு நிறைந்திருந்தாலும், கட்டடத்தில் ஜன்னல்களும் கதவுகளும் அதிகமிருந்தாலும் எதிரொலி எப்பொழுதுமே குறைவாக இருக்கும்.

ஆனால், இசைக் கூடங்களில் இசையின் வளத்தை உயர்த்தும் பொருட்டுச் சிறிது எதிரொலி இருக்க வேண்டியது அவசியந்தான். அதனால் கூடத்தின் கூரைகளைத் தாழ்வாகவும் பளபளப்பாகவும் வைத்துக் கொள்வதுண்டு. கூரைகள் உயர்வாக இருந்தால், ஒலி

அவற்றில் பட்டுத் திரும்பி வருவதற்குள் தேய்ந்துவிடும்; ஆகையால், ஒலி தடைபட்டுத் தடைபட்டுக் கேட்கும்.

6. எனவே, சிறந்த கட்டடங்களுக்கு வேண்டிய சூழ்நிலைகளுக்கு எதிராக அமையும் தடைகளை அகற்றி ஒலியியல் முறைப்படி உயர்ந்த மண்டபங்களையும் அரங்குகளையும் கட்டுவது சாத்தியமாகும் காரியந்தான். பேரறிஞர் ஸபைனுக்குப் பிறகு ஒலியியல் சிற்பக் கலை (architectural acoustics) வெகு வேகமாக வளர்ந்துள்ளது. இதற்காக இல்லினய் (Illinois) நகரத்தில் பிரத்தியேகமாய் ஒரு சோதனைச் சாலை ஏற்படுத்தப்பட்டுள்ளது. அங்கு இன்றும் ஒலியியல், சிற்பக்கலை சம்பந்தமாக ஆராய்ச்சிகள் நடைபெறுகின்றன.

III செவியுணரா ஒலியியல் (Ultrasonics)

1. ஒலி அதிர்வுகள் எவ்வளவு தூரம் காதால் உணர முடியுமென்பதையொட்டி, அவை கீழ் ஒலிகள் (infra sounds), கேள்வியொலிகள் (audible sounds), மேல் ஒலிகள் (ultrasonics) என்று பகுக்கப்பட்டுள்ளன. 'ultra' என்றால் அப்பால், 'sonics' என்றால் ஒலி; 'ultrasonics' என்றால் ஒலிக்கப்பால் என்று பொருள். அதாவது நம் காதுக்குக் கேட்காத அதிர்வெண்களுடைய ஒலி 'ultrasonics' அல்லது 'செவியுணரா ஒலி' எனப்படும். சில சமயங்களில் செவியுணரா ஒலியை ஸூபர்ஸானிக்ஸ் (supersonics) என்றும் அழைப்பதுண்டு. உண்மையில் இப் பதம் வேகத்தைக் குறிக்குமே யொழிய அதிர்வெண்ணைக் குறிக்காது. ஒலியின் வேகத்திற்கு அதிகமான வேகங்களுக்கு ஸூபர்ஸானிக் வேகங்கள் (supersonic speeds) என்று பெயர். இப்பொழுதெல்லாம் ஜெட் விமானங்கள் ஒலியின் வேகத்திற்கு அதிகமான வேகங்களுடன் பறக்கின்றன. இவற்றை ஸூபர்ஸானிக் ஜெட்கள் (supersonic jets) என்று அழைப்பதுண்டு.

மனிதக் காதின் அமைப்புப்படி அதிர்வெண்கள் 20-க்கும் 20,000-க்கும் இடையேயுள்ள ஒலிகளை மட்டுந்தான் கேட்க முடியும். ஒலிகளின் அதிர்வெண்கள் 20-க்கும் கீழோ, 20,000-க்கும் மேலோ இருக்குமாயின், அவை நமது காதுக்குப் புலப்படா. ஆனால், நம்மால் கேட்க முடியாத ஒலிகளைக் கேட்கும் விலங்குகளும் பறவைகளும் உள்ளன.

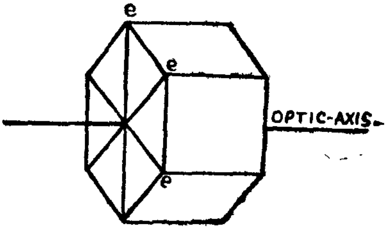
தேனீக்களெழுப்பும் சிறப்பொலிகளையும், வெட்டுக் கிளிகளெழுப்பும் கிரீச்சொலிகளையும் நாம் கேட்கிறோம். ஆனால், இவ்வொலிகளுடன் கூடவே, நம்மால் கேட்க முடியாத ஒலிகளையும்

இவை எழுப்புகின்றன. இவைதான் அல்ட்ராஸானிக் ஒலிகள். வெட்டுக் கிளிகள் உண்டாக்கும் ஒலிகளின் அதிர்வெண்கள் சில சமயங்களில் 40,000-க்கு மேல்கூட இருப்பதுண்டு. நாய், பூனை, எலி முதலியன சுமார் 30,000 அதிர்வெண்களுடைய ஒலிகளைக் கிளப்புகின்றன. இவ்வொலிகளை அவற்றால் கேட்கவும் முடியும். ஆனால், வெளவால்களால், 100,000-க்கு மேல் அதிர்வெண்களுடைய ஒலிகளை எழுப்ப முடியும். மிகவும் மென்மையான தங்களது உட் காதுகளினுதவியால் இவ்வளவு அதிகமான அதிர்வெண்களுடைய ஒலிகளை அவை மிகச் சுலபமாகக் கேட்கின்றன. இரவிலுலவும் இவ் விலங்குகள், இரவில் தடங்கல் பொருள்களைத் தவிர்க்க, தங்களது கண்களைவிடக் காதுகளைத்தான் அதிகம் நம்புகின்றன. பறக்கும்பொழுது அவை கிளப்பும் ஒலிகள் பரவி வழியிலுள்ள தடைகளில் மோதி எதிரொலித்துத் திரும்புகின்றன. எதிரொலி களின் திசைகளிலிருந்து தடைகளின் இடங்களை நிதானித்து அவற்றைத் தவிர்க்கின்றன. வெளவால்கள் அல்ட்ராஸானிக் ஒலியை எழுப்புவதில்லையென்றும், அதற்குப் பதில் மேல் சுருதி யுள்ள மின் துடிப்புகளையே உண்டாக்கி அவை எதிரொலித்துத் திரும்பும்பொழுது, ராடாரைப் போலவே (radar) மின்துடிப்புகளை மீண்டும் பெறுகின்றனவென்றும் சில பேரறிஞர்கள் நம்பு கின்றனர்.

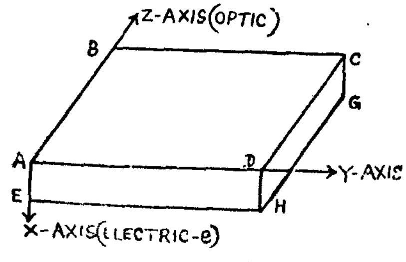
2. கால்ட்டன் ஊதல், அதிக அதிர்வெண்களுடைய இசைக் கவைகள், மின்சுடர்கள் (electric arcs) இவற்றைப் பயன்படுத்தி ஒலிகளை எழுப்பி நெடுங்காலமாகச் செவியுணரா ஒலிகள் ஆராய்ச்சி செய்யப்பட்டு வருகின்றது. இவ்வொலிகள் வலிவுள்ளதாக இல்லாததால் பயன்படத்தக்க அளவுகளெடுக்க முடியவில்லை. 1912 ஆம் ஆண்டில் டைட்டானிக் (Titanic) என்னும் அட்லான்டிக் கப்பலுக்கு விபத்து ஏற்பட்டது. அதன் பிறகுதான் அல்ட்ரா ஸானிக் ஒலியியல் வளர்ச்சியடைந்தது என்று சொல்ல வேண்டும். இது போன்ற விபத்துகளைத் தடுக்க அல்ட்ராஸானிக் ஒலி களைப் பயன்படுத்தலாமென்று ரிச்சர்ட்ஸன் (Richardson) என்ற விஞ்ஞானி கருதினார். இக் கருத்தை மேற்கொண்டு லான்ஜெவின் (Longevin) என்பவர் சோதனைகள் நடத்தி, அல்ட்ராஸானிக் ஒலிகளை உண்டாக்கினார். முக்கியமாக இரண்டு முறைகளில் இவ்வொலிகளை யெழுப்பலாம். அவற்றை இங்குக் கவனிப்போம்.

அழுத்த மின் துடிப்பான முறை (Pezo electric method): எந்திரச் சிதைவுண்டாக்கப்பட்டால், குவார்ட்ஸ் (quartz), டூர்மலைன் (tourmaline) போன்ற படிகங்கள் (crystals) மின்னூட்டம் பெறு கின்றன. அதுபோலவே படிகங்களுக்கு மின்னூட்டங் கொடுத் தால் அவை எந்திரச் சிதைவடைகின்றன. இக் குணத்தைப் பயன்

படுத்தி இவற்றினின்றும் அல்ட்ராஸானிக் ஒலிகளை யெழுப்பலாம். பெரும்பாலும் குவார்ட்ஸ் படிகம்தான் உபயோகிக்கப்படுகிறது. இது அறுகோண சமச்சீரமைப்புடையது; நுனிகள் கூர்மையாக இருக்கும். அதன் நீட்டச்சுக்கு (longitudinal axis) ஒளி அச்சு (optic axis) என்று பெயர். ஒளி அச்சுக்குச் செங்குத்தான திசையில் படிகத்தை நறுக்கினால், நறுக்கப்பட்ட பகுதியும் அறுகோண வடிவமுடையதாயிருக்கும். அதன் எதிர் முனைகளைச் சேர்க்கும் கோட்டிற்கு மின்னச்சு (electrical axis) என்று பெயர். எனவே, படிகத்திற்கு மூன்று மின்னச்சுகள் உள்ளன (*e*). ஒவ்வொன்றும் ஒளி அச்சுக்குச் செங்குத்தாகவிருக்கும். *ABCDEFGH* என்பது இத்தகைய குவார்ட்ஸ் படிகத்தின் ஒரு செவ்வகத் துண்டு. *AB* (Z-axis) ஒளி அச்சின் திசையிலும், *AE* (X-axis) ஒரு மின்னச்சுத் திசையிலும், *AD* (Y-axis) இவ்விரண்டு அச்சுகளுக்குச் செங்குத்தாகவும் இருக்கின்றன. *AE*-ன் திசையில் படிகம் உள்ளமுக்கப்பட்டால், *ABCD* என்ற பக்கத்திற்கு நேர் மின்னூட்டமும் (+ve charge), *EFGH* என்ற பக்கத்திற்கு எதிர் மின்னூட்டமும் (−ve charge) ஏற்படுகின்றது. இதற்குத்தான் நேர்முக (direct) நெட்டழுத்த மின் விளைவு (longitudinal piezo-electric effect) என்று பெயர். அதுபோலவே *Y* அச்சுத்திசையில் ஓர் இழுவிசையை(tension) இயக்கினால், படிகம் *AD* என்ற திசையில் நீள்கிறது அல்லது *AE* என்ற திசையில் குறைகிறது. எனவே, இப்பொழுதும் *ABCD* என்ற பக்கம் நேர்மின் முனையாகவும், *EFGH* என்ற பக்கம் எதிர் மின் முனையாகவும் இருக்கும். இதற்குக் குறுக்கு (transverse) அழுத்த மின் விளைவு எனப் பெயர். இதற்குப் பதிலாக *AE* திசையில் இழுவிசையும், *AD* திசையில் உள்ளமுக்கமும் கொடுக்கப்பட்டால், *ABCD* என்ற பக்கம் எதிர்மின் முனையாகவும் *EFGH* என்ற பக்கம் நேர்மின் முனையாகவும் ஆகின்றன. ஆனால், ஒளியச்சின் திசையில் (Z-axis) அழுத்த மின்விளைவு ஏற்படுவதில்லை. படிகத்தை அழுத்தியோ இழுத்தோ அதற்கு மின்னூட்டங் கொடுப்பதற்குப் பதிலாக, மின்னழுத்தத்தை ஊட்டினால், அது



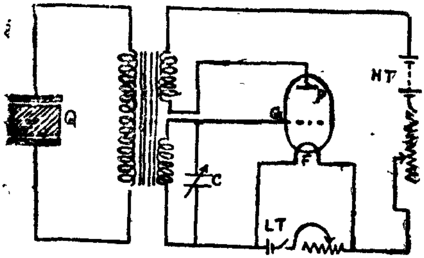
படம் 91



படம் 92

உடன் திரிபடையும்: ABCD என்ற பக்கத்திற்கு நேர்மின்னூட்டமும், EFGH என்ற பக்கத்திற்கு எதிர் மின்னூட்டமும் அளித்தால் படிகம் X-அச்சுத் திசையில் விரிவடைகிறது. Y-அச்சுத் திசையில் அதன் நீளம் குறைகிறது. ABCD-ல் எதிர் மின்னூட்டமும், EFGH-ல் நேர் மின்னூட்டமும் இருந்தால் AE குறையும்; அதே சமயத்தில் AD நீளமடையும். எனவே, எதிர் முகங்களிலுள்ள மின்னூட்டம் திரும்பத் திரும்ப மாறுதலடைந்தால், படிகமும் அதே வேகத்தில் பெருக்கமும் சுருக்கமும் அடையும். தொடர்ந்து உருவில் பெருக்கமும் சுருக்கமும் சீரான அதிர்வெண்ணுடன் நிகழ்ந்தால், படிகம் அதிர்வுறுகிறது. அப்பொழுது அதன் அதிர்வெண்ணும், மாறுபடும் மின்புலத்தின் அதிர்வெண்ணும் சமமாகும்.

இப்பொழுதெல்லாம் வெப்பநிலை அயனி வால்வுகளைப் பயன்படுத்தி மின் காந்த அலைகளை எழுப்பும் ஏற்பாடுகளைக் கொண்டு அல்ட்ராஸானிக் ஒலிகளை எழுப்புகின்றனர். படத்தில் காட்டப்பட்டிருப்பது ஓர் அமைப்பு. குவார்ட்ஸ் படிகத்தின் அதிர்வுகள் வால்வு சுற்றின் (circuit) அதிர்வெண்ணைக் கட்டுப்படுத்துகிறது. வால்வு, மின்னதிர்வுகளைப் பெருக்கி, திரும்பவும் அவற்றைப் படிகத்தின் சுற்றுக்குள் ஊட்டுகிறது. அதிக அதிர்வெண்களுடைய அல்ட்ராஸானிக் அலைகளை இம்முறையில் உண்டாக்கலாம்.



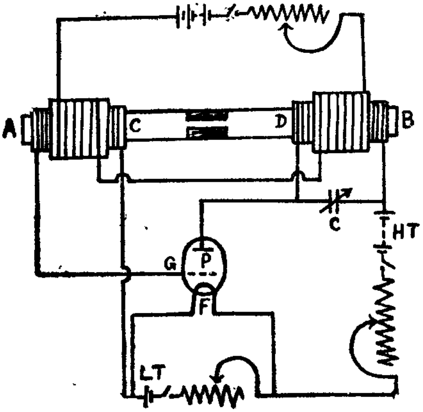
படம் 93

காந்தப் பரிமாண மாற்றமுறை (Magneto-striction method)

நிக்கலைப் போன்ற ஃபெரோ காந்தப் பொருளாலான ஒரு கோலின் நீளவாட்டத்தில் காந்தப் புலனைச் செலுத்தினால் அதன் நீளம் மாறுகின்றதென்பதை 1847-ல் ஜோல் (Joule) என்ற விஞ்ஞானி கண்டார். இந் நிகழ்ச்சிக்குக் காந்தப் பரிமாண மாற்றம் (magneto-striction) என்று பெயர். நீளத்தின் மாறுதல் காந்தப் புலத்தின் பலத்தைப் பொறுத்திருக்கும். திசைமாறும் காந்தப் புலனைப் பயன்படுத்தினால், புலனின் மதிப்பு வளரும்பொழுது கோலின் நீளமும் அதிகரிக்கும். அதனால் கோலின் நீளம் மாறி மாறி நீண்டும் குறைந்தும் வரும். அப்பொழுது அது அதிர்வுறும். காந்தப் புலனின் அதிர்வெண்ணைவிடக் கோலின் அதிர்வெண் இருமடங்கு இருக்கும். மாறாத காந்தப் புலனும், திசை

மாறும் காந்தப் புலனும் ஒரே சமயத்தில் நிக்கல் கோலை இயக்கினல், அதன் அதிர்வெண் திசைமாறும் புலனின் அதிர்வெண்ணுக்குச் சமமாகவிருக்குமென்று நிரூபிக்கலாம். கோலின் இயல்பான அதிர்வெண்ணும், திசைமாறும் புலனின் அதிர்வெண்ணும் ஒன்ருகவேயிருந்தால், ஒத்திசைவு நிகழ்ந்து கோலில் நிகழும் அதிர்வுகளின் வீச்சு அதிகரிக்கும். இம் முறையில் அல்ட்ராஸானிக் அலைகளையுண்டாக்கலாம்.

நடுவில் பிடிக்கப்பட்ட, A B என்ற ஒரு நிக்கல் கோலின் இரு நுனிகளிலும் C, D என்ற இரண்டு மின்கம்பிச் சுருள்கள் சுற்றப்பட்டுள்ளன. ஒரு சுருள் வால்வின் கிரிட் சுற்றுடனும், மற்ருென்று ஆனேட் சுற்றுடனும் படத்தில் கண்டபடி இணைக்கப்பட்டுள்ளன. வால்வு அலையியற்றியின் அதிர்வெண்ணை மாறியல் மின் தேக்கியைக் கொண்டு கட்டுப்படுத்தலாம். ஆனேட் மின்னேட்டம் அதிகரித்தால் நிக்கல் கோலின் நீளம் மாறும். அதனுல் C-யில் பாயம் (flux) மாறும்; அப்பொழுது கிரிடின் மின்னழுத்தம் அதிகரிக்கும். ஆனேட் மின்னேட்டம் மேலும் அதிகரிக்கும். கோலின் அதிர்வுகள் காக்கப்படும். மாறியல் மின் தேக்கியின் மதிப்பை மாற்றி அதிர்வுகளின் அதிர்வெண்ணைக் கட்டுப்படுத்தலாம். கோலின் நெட்டலைவு அதிர்வெண்ணும், அலையியற்றியின் அதிர்வெண்ணும் ஒன்ருக இருந்தால் ஒத்திசைவேற்படும். ஒலிவலிவுள்ளதாக இருக்கும். கோல் நடுவில் பிடிக்கப்பட்டிருப்பதால், அதன் இயல்பான அதிர்வெண் $n = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{E}{\rho}}$.



படம் 94

l, E, ρ என்பன முறையே கோலின் நீளம், மீட்சி குணகம், அடர்த்தி முதலியனவாகும். நீளத்தை சௌகரியப்படி மாற்றி அதிர்வெண்ணை வேண்டிய அளவு அதிகரிக்கலாம். உதாரணமாக, கோலின் நீளம் 10 செ.மீ. ஆனல், அதிர்வெண் 25,000 ஆகும். இவ்வகையில் வலிவான அல்ட்ராஸானிக் ஒலியலைகளை எழுப்ப முடியும்.

3. அலைகளைக் கண்டுபிடித்தல்: அல்ட்ராஸானிக் அலைகளின் அதிர்வெண் குறைவாக இருந்தால் அதை, உணர்வுச் சுடரையும் சுழலும் ஆடியையும் கொண்டு கண்டுபிடித்து விடலாம். அலைகளின் கணுவில் சுடரை வைத்தால் அதன் பிம்பம் கண்ணுடியில் பற்களைப்போன்ற தோற்றத்தை அளிக்கும். ஆனல், எதிர்க் கணுவில் வைத்தால் பிம்பம் பட்டையாகத் தோன்றும்.

குண்ட் குழாயைக் கொண்டும் அல்ட்ராஸானிக் அலைகளைக் கண்டுபிடிக்கலாம். அலையெழுப்பும் கோல் குழாய்க்குள் அமைக்கப்படவேண்டும். குழாயில் லைக்கோபோடியம் துகள்களைத் தூவினால், கணுக்களிருக்குமிடங்களில் துகள் குவியலாக இருக்கும். திரவங்களில் அலைகள் எழுப்பப்பட்டால், குண்ட் குழாயில் லைக்கோபோடியம் துகளுக்குப் பதிலாகக் கரித்தூள்களையோ காற்றுக் கலக்காத மணலையோ உபயோகப்படுத்தலாம்.

குவார்ட்ஸ் படிகங்களைக் கொண்டும் அல்ட்ராஸானிக் ஒலிகளைக் கண்டுபிடிக்க முடியும். படிகத்தில் அலைகள் தாக்கினல் அதன் இருபக்கங்களிலும் மின்னூட்டங்களேற்படும். இவற்றைப் பெருக்கிக் கண்டுபிடித்து விடலாம். இம்முறையைக் கையாண்டு தான் அல்ட்ராஸானிக் குறுக்கீட்டு விளைவுமானி உபயோகிக்கப் படுகிறது.

அல்ட்ராஸானிக் அலைகளையெழுப்பும் பொருளில் கணுவும் எதிர்க்கணுவும் உண்டாகின்றன. கணுவில் மாறி மாறி இறுக்கமும் தளர்த்தியும் உருவாகும். அதனுல் கணுவில் மாறி மாறி வெப்பமும் குளிர்ச்சியும் ஏற்படும். கணுவில் பிளாட்டினம் கம்பியைச் சுற்றினுல், அதில் வெப்ப மாறுதலேற்பட்டு அதன் மின்தடை மாறுதலடையும். ஆனல், எதிர்க்கணுவில் எந்த மாறுதலுமேற்படாது. இம்முறையில் இப்பொழுது பெரும்பாலும் அல்ட்ராஸானிக் அலைகளைக் கண்டுபிடிக்கின்றனர்.

4. குணங்கள்: அல்ட்ராஸானிக் ஒலி பொதுவாக செவியுணரும் ஒலியைப்போல்தான் செயல்படுகிறது. இரண்டு ஒலிகளுக்குமே எதிரொலித்தல், ஒலிவிலகல், உட்கவரல் முதலிய எல்லா குணங்களுமுண்டு. எனினும், இரண்டுக்கும் சில முக்கிய வித்தியாசங்களுண்டு. செவியுணரும் ஒலிகளின் அதிர்வெண்கள் 20,000-த்திற்குக் கீழேதான் இருக்க முடியும். செவியுணரா ஒலியின் அதிர்வெண் 20,000-த்திற்கு மேலிருக்கும். அல்ட்ராஸானிக் அலைகளின் நீளம் மிகச் சிறியதாக இருக்கும். அதனுல் அல்ட்ராஸானிக் ஒலியின் விளிம்பு விளைவுகளை (diffraction), செவியுணரும்

ஒலிகளின் விளிம்பு விளைவுகளைப்போல் சுலபமாகக் காண முடியாது. மேலும் அல்ட்ராஸானிக் ஒலியின் அதிர்வெண் பெரிதாக இருப்ப தால் அது ஆற்றல் மிக்கதாக உள்ளது.

5. விளைவுகள் : செவியுணரா ஒலிகள் அதிர்வெண் மிக்கவை யாதலால், அவற்றின் ஆற்றல் மிகப் பெரிது. ஏந்திர விளைவு, ரசாயன விளைவு, உடற்கூற்று விளைவு எனப் பல விளைவுகளை உண்டுபண்ணுகின்றன. இவ் விளைவுகளின் காரணமாக அல்ட்ரா ஸானிக் ஒலிகள் பல வழிகளில் பயன்படுகின்றன. அவற்றுள் சிலவற்றைக் குறிப்பிடலாம். ஆனால், விளைவுகள் என்னவானாலும், பலன்கள் எவ்வளவாயினும், அவற்றிற்கெல்லாம் மூல காரணம் அல்ட்ராஸானிக் ஒலிகளின் அளவு கடந்த ஆற்றல் என்பதை மறந்துவிடக்கூடாது.

எண்ணெய் நிறைந்த பாத்திரத்தினடியில் இரண்டு கண்ணாடி களுக்கிடையில் ஒரு குவார்ட்ஸ் படிகத்தை வைத்து, அதில் 500,000 அதிர்வெண்ணுடைய ஒலியை யெழுப்பினால், 13 செ.மீ. உயரம்வரை குன்றுபோல் எண்ணெய் எழும்புவதைக் காணலாம். இந்நிலையில் அலைகள் வலிவாக இயக்கப்பட்டால், எண்ணெய் ஊற்றுபோல் வெகு உயரத்திற்கு மேலே எழும்பும். இதே பாத்திரத்தில், கலக்காத இரண்டு திரவங்களடங்கிய ஒரு குடுவையை வைத்தால், குடுவையிலுள்ள திரவங்கள் கலந்து ஒரே குழம்பு (emulsion) போலாவதைக் காணலாம். ஒரு பக்கம் மூடப்பட்ட ஒரு கண்ணாடிக் குழாயினுள் பக்கத்தில் எண்ணெயைத் தடவி அக்குழாயை மேற்கூறிய பாத்திரத்தில் வைத்தால், தடவிய எண்ணெய் ஒன்று சேர்ந்து கண்ணாடிக் குழாயில் கீழிருந்து மேல் வரை வளையம் வளையமாக அமையும். அல்ட்ராஸானிக் ஒலியைப் பொருள்களின் வழியே அனுப்பினால் அவை அதிக வெப்ப மடைகின்றன. உதாரணமாக, நீரின் வழியே ஒலியை அனுப்பினால் நீர் கொதிநிலையைக்கூட அடைந்துவிடும். உடற்கூறு விளைவுகளும் மிகவும் வியக்கத்தக்கன வாயுள்ளன. அல்ட்ராஸானிக் அலைகள் பாயும் வழியில் நின்றால் மனக்குழப்பமேற்பட்டு மயக்க நிலை உண்டாகிறது. அல்ட்ராஸானிக் அலைகளை எழுப்பும் ஒரு கோலை விரலால் தொட்டாற்கூடச் சுட்டுவிடுகின்றன. இவ்வலைகள் உயிரணுக்கள்மீது பட்டால்கூட அவை குலைந்து இறந்து விடு கின்றன. இவற்றினால் சிலவகைப் பயிர்களைத் தழைக்க வைத்து விளைச்சலைப் பெருக்கலாம்.

6. பயன்கள் : வெளியில் செயல்படும் ராடாரைப்போன்று (radar), நீரில் செயல்பட ஸோனர் (sonar) என்ற கருவியொன்று

செய்யப்பட்டுள்ளது. இதைக்கொண்டு நீரில் அல்ட்ராஸானிக் அலைகளை உற்பத்தி செய்து நீரின் மூலம் அனுப்பலாம். இதனின்றும் செல்லும் அலைகள் நீரினுள்ள தடைப் பொருளின் மீது பட்டு எதிரொலித்துத் திரும்பவும் இதனிடையே வந்துவிடும். எதிரொலிக்கும் அலைகள் வரும் திசைகளிலிருந்தும், வர எடுத்துக் கொள்ளும் நேரத்திலிருந்தும், தடைப் பொருள்கள் இருக்குமிடத்தைச் சுலபமாகக் கண்டுபிடித்து விடலாம். (1) சோனரைக் (sonar) கொண்டு போர்க் காலங்களில் நீர் முழுகிக் கப்பல் போன்ற எதிரியின் தளவாடங்களைக் கண்டுபிடித்து அழிக்கவும், சமாதான காலங்களில், கடலின் ஆழத்தைக் கண்டுபிடித்தல், நீரில் பாறை முதலிய ஆபத்தான தடைகளைத் தவிர்த்தல் முதலிய உதவிகளைப் பெறவும் முடியும். (2) கூட்டங் கூட்டமாகக் கடலில் உலவும் மீன்களைக் கண்டு அவற்றைப் பிடிக்கவும் அல்ட்ராஸானிக் அலைகளைப் பயன்படுத்தலாம். (3) கடலில் கப்பல்களுக்குள்ளும், ஆகாயத்தில் விமானங்களுக்குள்ளும் செய்திகள் அனுப்பிக் கொள்ள அல்ட்ராஸானிக் அலைகள் பெரிதும் பயன்படுகின்றன.

விஞ்ஞானத்துறையில், (1) அல்ட்ராசானிக் குறுக்கீட்டுமானியைக் (interferometer) கொண்டு திடப்பொருள்களிலும், திரவப் பொருள்களிலும் ஒலியின் வேகத்தைக் கண்டுபிடிக்கலாம். இக் கருவியில் அல்ட்ராசானிக் அலைகளையெழுப்பும் ஒரு குவாட்ஸ் படிகமும், அவற்றைப் பிரதிபலிக்கும் ஓர் ஆடியுமுள்ளன. படிகத்திலிருந்து செல்லும் அலைகளும், ஆடியிலிருந்து பிரதிபலித்து வரும் அலைகளும் ஒன்றோடொன்று பொருந்தி நிலை அலைகளை அமைக்கின்றன. அலைநீளத்தை அளந்து, அலையின் அதிர்வெண்ணையும் தெரிந்து, படிகத்திற்கும் ஆடிக்குமிடையேயுள்ள பொருளில் ஒலியின் வேகத்தைக் கணக்கிடுகின்றனர். இதுபோலவே திரவங்களிலும் ஒலிவேகத்தைக் கண்டுபிடிக்கலாம். (2) வோல்ட்டாவின் மின்கலத்தில் ஹைட்ரஜன் குமிழிகள் முனைகளை மறைப்பதனால் துருவகரணம் என்னும் குறையேற்படுகிறது. அல்ட்ராசானிக் அலைகளை மின்கலத்தினுள் அனுப்பிக் குமிழிகளைக் கலைத்துக் குறையேற்படுவதைத் தடுக்கலாம். (3) கலக்காத இரண்டு திரவங்களை ஒரு பாத்திரத்தில் வைத்து அதன் வழியே அல்ட்ராசானிக் அலைகளை அனுப்பினால், இரண்டு திரவங்களும் நன்றாகக் கலந்துவிடும். (4) இறுதியாக டெலிவிஷன் கருவியில் வரி கண்ணோட்டமிடுவதற்கு (television scanning) அல்ட்ராசானிக் அலைகள் இப்பொழுது பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

தொழில் துறையில் அல்ட்ராசானிக் ஒலி பெரிதும் பயன்படுகிறது. (1) அல்ட்ராசானிக் அதிர்வெண்ணுடன் துடிக்கும்

ஒரு கண்ணாடித் துண்டினால் கண்ணாடிப் பலகை, எஃகு தகடு, வைரம் முதலியவற்றில் சுலபமாகத் துளையிட முடியும். இக் குணத்தைப் பயன்படுத்தி, அல்ட்ராசானிக் துரப்பணங்கள் செய்து (drills) செயற்கைப் பற்கள் செய்யும் தொழிலில் அவற்றைப் பயன்படுத்துகின்றனர். (2) கார், உருப்பதிவுப் பெட்டி (camera), இன்னும் மென்மையான கருவிகள் முதலியன உற்பத்தி செய்வோர், அல்ட்ராசானிக் அலைகளைப் பயன்படுத்தி மசை, தூசி, உலோகத் துகள்கள் முதலியவற்றை யகற்றிச் சுத்தம் செய்கின்றனர். (3) நுண்ணிய பொருள்களைச் சுத்தம் செய்வதற்காகக்கூட அல்ட்ராசானிக் கருவிகள் செய்யப்படுகின்றன. (4) உலோகங்களில் வெளியே தெரியாமல் உள்ளேயே பிளவுகளும் குறைகளும் இருக்கலாம். குறைகளுடன் உலோகங்கள் பயன்படுத்தப்பட்டால், அவற்றால் செய்யப்பட்ட உறுப்புகளும், கருவிகளும் சீக்கிரமே கெட்டுவிடும். இதைத் தடுப்பதற்காக, குறையுள்ள உலோகப் பகுதிகளை நீக்கி, குறையற்றப் பகுதிகளைக் கண்டுபிடிக்க அல்ட்ராஸானிக் ஒலி அலைகள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. (5) இரண்டு திரவப் பொருள்களின் கலவையில் அல்ட்ராஸானிக் அலையை அனுப்பினால் நீர்க்குமிழி அல்லது திரவக் குமிழி (cavitation) ஏற்படுகிறது. அலையை நிறுத்தியவுடன் குமிழி கலையும். அப்பொழுது அவற்றிற்குள் பெரும் அழுத்தம் ஏற்பட்டு இரண்டு திரவங்களும் இணைந்து குழம்பாகின்றன. இக் குணத்தைப் பயன்படுத்தி உருவப்படம் பிடிப்பதற்கு வேண்டிய ஃபோட்டோ கிராஃபிக் தகடுகளும் மென் தாள்களும் உற்பத்தி செய்யப்படுகின்றன. இது போல உலோகங்களை உருக்கி, அல்ட்ராஸானிக் அலைகள் மூலம் கலப்பு உலோகம் (alloys) செய்கின்றனர். (6) அல்ட்ராஸானிக் அலைகளால் தாக்கினால் துணிகளிலுள்ள தூசிகளும் அழுக்குத் துகள்களும் சிதறிப் பறந்துவிடும். இக் குணத்தைப் பயன்படுத்தி அல்ட்ராஸானிக் சலவைக் கருவிகள் செய்யப்பட்டுள்ளன. இவற்றினுதவியால் குறுகிய காலத்தில் அதிகத் துணிகளைக் குறைந்த செலவில் சலவை செய்யலாம். (7) அல்ட்ராஸானிக் அலைகளை உபயோகித்துப் பாலைச் சீக்கிரம் பதனிடலாமென்று கண்டுள்ளார்கள்.

மருத்துவத் துறையிலும் அல்ட்ராஸானிக் ஒலி பயன்படுகின்றது. (1) நோய்க்கிருமிகளும், பாக்டீரியாக்களும் (bacteria) அல்ட்ராஸானிக் அலைகளால் கொல்லப்படுகின்றன. எலி முதலிய பிராணிகளும் இறந்துவிடும். (2) கொசு, ஈ முதலிய பூச்சிகளைக் கொல்லவும் ஃப்ளிட், டி. டி. டி (D. D. T.) முதலியவற்றிற்குப் பதில் இவ்வலைகளை உபயோகிக்கலாம். (3) பித்தக் கற்கள் (gall stones), சிறுநீரகக் கற்களை (kidney stones) உடைத்துத் தகர்க்க

இவ்வலைகளைப் பயன்படுத்தலாம். பிறகு இவை இயற்கையாகவே வெளிவந்துவிடும். (4) விநாடிக்குச் சுமார் 800,000 அதிர்வுகள் செய்யும் உலோகக் கோல்களைக் கொண்டு உடம்பில் தடவினால், அலைகள் உடலில் ஊடுருவிச் சென்று தசைகளை இதமாகத் தடவிக் கொடுக்கின்றன. அதனால் உடம்பிலேற்படும் பலவித வலிகளும் நீங்குகின்றன. (5) வெளி நாடுகளில், இப்பொழுதெல்லாம் ஒரு புதிய ஊன்றுகோல் (walking stick) தயார் செய்கின்றனர். அதில் அல்ட்ராஸானிக் அலைகளை அனுப்பவும் வாங்கவும் உபகரணங்கள் பொருத்தப்பட்டுள்ளன. அதன் உதவி கொண்டு கண் தெரியாதவர்கள் நன்றாக நடக்கலாம். அல்ட்ராஸானிக் அலைகளை வெளியனுப்பினால் அவை சென்று வழியிலுள்ள தடைகளில் பட்டுப் பிரதிபலிக்கின்றன. பிரதிபலித்துத் திரும்பும் அலைகளை வாங்கி, அவை வரும் திசையிலிருந்து தடைப் பொருள்கள் இருக்கும் இடத்தைக் கண்டுபிடித்து அவற்றைத் தவிர்க்கலாம். (6) அறுவைச் சிகிச்சையில் இப்பொழுதெல்லாம் கத்திக்குப் பதில் அல்ட்ராஸானிக் அலைகளைப் பயன்படுத்தலாமென்று கண்டுபிடித்துள்ளனர். இவ்வலைகளை உடற்குள் பிணியுற்ற பகுதிக்குச் சரியாக அனுப்பி, 'கத்தியின்றி ரத்தமின்றி' அழித்து மற்ற இடங்களைப் பாதிக்காமல் சிகிச்சை செய்கின்றனர். இதே முறையில் மூளையில் அறுவைச் சிகிச்சையும் செய்யப்படுகிறது.

கேள்விகள்

1. பெர்லினர் கண்டுபிடித்த இசைத் தட்டைத் தயார் செய்யும் விதத்தையும், அதைக் கொண்டு இசையெழுப்பும் முறையையும் விளக்குக.

2. காந்த நாடா ஒலிப்பதிவுக் கருவியை விவரிக்க. இதைக் கொண்டு இசையையோ பேச்சையோ பதிவு செய்து வெளியெழுப்பும் முறையை விளக்குக.

3. திரைப்படத்தில் ஒளியுடன் ஒலியும் எப்படிப் பதிவு செய்யப்படுகிறது? மாறுபடும் அடர்த்தி முறையையாவது, மாறுபடும் பரப்பு முறையையாவது விவரி.

4. திரைப்படத்தில் ஒளியுடன் ஒலியும் எப்படி வெளியாகின்றது? படத்துடன் விளக்குக.

5. கட்டட ஒலியியலைப் பற்றி ஒரு கட்டுரை வரைக.

6. செவியுணரா ஒலி என்றால் என்ன? இவ்வொலியைக் கிளப்ப ஒரு முறையை விளக்குக.

7. அழுத்த மின் விளைவு என்றால் என்ன? இவ் விளைவைப் பயன்படுத்தி எவ்வாறு அல்ட்ராஸானிக் ஒலிகளைக் கிளப்பலாம்?

8. காந்தப் பரிமாண மாற்றமென்றால் என்ன? இவ் விளைவைப் பயன்படுத்தி எவ்வாறு அல்ட்ராஸானிக் ஒலிகளைக் கிளப்பலாம்?

9. செவியுணரா ஒலிகளின் பயன்களை விவரிக்க.

10. கீழ்க்கண்டவற்றைப் பற்றிக் குறிப்புரைகள் எழுதுக:

(a) எதிர்முழக்கம்

(b) எதிரொலி

(c) ஸோனார்.

கலைச் சொற்கள்
(ஆங்கிலம்—தமிழ்)

A

Absolute — தனி, சார்பிலா
Absorption — உட்கவரல்
Absorption Coefficient — உட்கவர் எண்
Abstraction — கவர்தல்
Acceleration — முடுக்கம்
Acetylene gas — அஸெட்டலின் எரிபொருள்
A. C. Field — ஏ. ஸி. புலன்
Acoustic Interferometer — ஒலி குறுக்கீட்டுமானி
Acoustics — ஒலிக்கலை
Acoustics of Buildings — கட்டட ஒலியியல்
Adiabatic — வெப்பமாறு பரும அழுத்த
Adjusting screw head — சீர் செய்யும் திருகு முகப்பு
Agitation — கலக்கம்; கிளர்ச்சி
Air cavities — காற்றுப் பொந்துகள்
Alcohol — ஆல்கஹால்
Alloy — கலப்பு உலோகம்
Alternating magnetic field — திசைமாறு காந்தப்புலன்
Amplification — பெருக்கம்
Amplitude — வீச்சு
Analysis — பகுப்பாய்வு
Analytical — பகுப்பாராய்ச்சி
Angle of incidence — படுகோணம்
Angle of reflection — பிரதிபலிப்புக் கோணம்
Angular velocity — கோண திசைவேகம்
Annular zones — வளைவடிவ மண்டலங்கள்
Annulling — அழிக்கும்
Anode — நேர்மின்வாய்
Anode circuit — நேர்மின்வாய் சுற்று
Anode current — நேர் மின்னோட்டம்
Anti-node — எதிர்க்கணு

Anti-reverberation — எதிர் முழக்கத்தணிப்பு
Anvil — பட்டரை
Aperture — துளை
Apparent — வெளிப்படையான
Architect — கலைஞர்; சிற்பி
Arcing — சுடர்விடல்
Area of the track — பாதையின் பரப்பு
Artic region — ஆர்ட்டிக் மண்டலம்
Articulation — பேச்சொலி
Asbestos — அஸ்பெஸ்டாஸ்
Aspirator jar — காற்றுறிஞ்சி ஜாடி
Asymmetric — சமச்சீரற்ற
At break — பிரியும்பொழுது
Atmosphere — வெளி
Audibility — கேள்திறன்
Audibility limit — கேள்திறன் எல்லை
Auditor — கேட்பவர்
Auditor canal — செவிக்குழாய்
Auditory nerves — கேள்வி நரம்புகள்
Axis — அச்சு
Axis of rotation — சுழலச்சு

B

Back EMF — எதிர்-மின்னியக்குவிசை
Back ground — பின்னணி
Bacteria — நுண்மங்கள்
Band — பட்டை
Bar — தண்டு
Base — பாதம்; தளம்
Basilar membrane — பேஸிலார் ஜவ்வு
Basser notes — தாழ்ந்த ஒலி
Basser voice — தாழ்ந்த குரல்
Battery — பாட்டரி
Beam — கற்றை
Beats — விம்மல்கள்
Beat-tones — விம்மல் ஒலிகள்
Bending moment — வளைவுத் திருப்புதிறன்
Bird call — புள்ளொலி
Blade shaped — படலம்; பாளம்
Blast — வீச்சு

Blow hole — ஊது துளை
Bowed — வில்லதிர்க்கப்பட்ட
Bridge — குதிரை; மேளம்
Building acoustics — கட்டட ஒலியியல்
Building material — கட்டடப் பொருள்
Bulk modulus — பருமக் குணகம்

C

Calibration — அளவீடு செய்தல்
Camera — உருப்பதிவுப் பெட்டி
Canalis cochlearis — கனலிஸ் காக்ளியாரிஸ்
Cannon — பீரங்கி
Capacity — திறமை
Capsule — மென்தோல் கூடு
Cast iron — வார்ப்பிரும்பு
Cathode — எதிர் மின்வாய்
Cathode ray oscillograph — எதிர்மின்கதிர் ஆஸிலோகிராஃப்
Cavitation — நீர்க்குமிழி
Cell — மின்கலம்
Celotex — ஸெலோடெக்ஸ்
Centrifugal force — மையநாடு விசை
Charged — மின்னூட்டப்பட்ட
Changing electrical impulses — மாறும் மின்தாக்குகள்
Characteristics — இயல்புகள்
Chemical effects — இரசாயன விளைவுகள்
Chest — நெஞ்சு; மனம்
Chest register — மனப்பதிவு
Chirping crickets — கிரீச்சொலிக்கும் வெட்டுக்கிளிகள்
Chisselled — செதுக்கப்பட்ட
Chisel shaped pole — உளி முனை
Chronograph — கால வரைவி
Circle — வட்டம்
Circuit — சுற்று
Circutous route — சுற்றுப் பாதை
Circumference — பரிதி
Classification — பாகுபாடு
Click of the watch — கடிகார ஒலி
Cling — பற்றிக் கொள்ளல்

Clockwise — வலஞ்சுழி
Clock work — இயந்திர முறை
Clock work mechanism — மணிப்பொறி ஏற்பாடு
Coal gas supply — கரிவளி வழங்கல்
Coax the flame — சுடரை இணங்கச் செய்தல்
Cochlea — சுருள்வளை
Coefficient — எண்
Coercivity — காந்த நீக்குதிறன்
Coil — சுருள்
Colloidal solution — கூழ்ப்பால் கரைசல்
Column — தம்பம்
Combinations — கூடல்
Combination tone — கூட்டோசை
Compass — வரம்பு
Compass of the instrument — கருவியின் வரம்பு
Complex note — பல் கூட்டொலி
Complementary — நிரப்பும்; ஈடு செய்யும்
Complex — சிக்கலான
Complex harmonic vibrations — பல்கூட்டதிர்வுகள்
Complex sound — பல்கூட்டொலி
Component notes — கூறு ஒலிகள்
Components — பகுதிகள்
Component vibration — அதிர்வின் பகுதிகள்
Composite note — இணைச் சுருதி
Composition — தொகுப்பு
Compounded — இணைக்கப்பெற்ற
Compound microscope — கூட்டு நுண்ணோக்கி
Compound note — கலப்பொலி
Compression — இறுக்கம்
Compressive stress — இறுக்கத்தகைவு
Concave mirror — குழி ஆடி
Concentric — பொது மைய
Concord — ஒத்திசை
Condensation — நெருக்கம்
Condenser — மின்தேக்கி
Conduction — கடத்தல்
Conductor — கடத்தி
Cone — கூம்பு
Conical — கூம்பான
Conical horn — கூம்பான கொம்பு

Conical tube — கூம்பான குழாய்
Consonance — ஒத்திசை
Constant — மாறிலி
Constant speed — மாறாத வேகம்
Contact gap — தொடர்பு இடைவெளி
Contact maker — தொடர்பு செய்பான்
Control device — கட்டுப்படுத்தும் விசை
Controlled — கட்டுப்படுத்தப்பட்ட
Convex lens — குவிவில்லை
Convey — அனுப்பு
Copper Voltameter — காப்பர் வோல்ட்டா மீட்டர்
Cork — தக்கை
Creep — படர்
Crest — முகவு
Crevices — இடுக்குகள்
Cross-section — குறுக்கு வெட்டு
Crystal — படிகம்
Cubic — கன வடிவம்
Cycle — சுற்று
Cylinder — உருளை

D

Damped — நசுக்கப்பட்ட; தடையுற்ற
Damped osclliations — தடையுற்ற அலைகள்
Damping pad — தடையிடும் திண்டு
Definition — வரையறை
Delicacy — நயம்
Delicate flame — மென்மைச் சுடர்
Demagnetisation — காந்தமழித்தல்
Demagnetising effect — காந்தமிழக்கும் விளைவு
Density — அடர்த்தி
Density of the track — பாதையின் அடர்த்தி
Depletion of sound — ஒலி குறைதல்
Depression — பள்ளம்; மந்தம்
Depth sounding — ஒலி முறை ஆழங்காணல்
Design — அமைப்பு
Development — உருவிளக்கம்; ஒலி விளக்கம்
Deviation — திசை மாற்றம்
Device — உபாயம்
Dew point — பனிநிலை

Diameter — விட்டம்
Diephragm — இடைத்திரை
Differential tone — பகுவோசை
Diffraction — விளிம்பு விலகல்
Diffraction grating — விளிம்பு விலகு கீற்றணி
Dimension — அளவு
Direct — திசைப்படுத்து
Direct effect — நேர்விளைவு
Disc — வில்லை; தட்டு
Discern — உணர்
Discharge tube — மின்னிறக்கக் குழாய்
Discord — ஒவ்வா இசை
Displaced position — பெயர்ந்த இடம்
Displacement — இடப்பெயர்ச்சி
Dissonance — ஒவ்வா இசை
Distortion — உருக்குலைவு
Disturbing echoes — துன்புறுத்தும் எதிரொலிகள்
Dome — குவிமாடம்
Doppler effect — டாப்ளர் விளைவு
Double compression — இரட்டை இறுக்கம்
Double rarefaction — இரட்டைத் தளர்த்தி
Drag — இழுவை
Drills — துரப்பணம்
Droning flies — ஒத்தோசையெழுப்பும் ஈக்கள்
Droning instrument — ஒத்து; தம்பூர்
Drum — காது ஜவ்வு; வட்டுருளை
Dry air — வறண்ட காற்று
Duralium — வலிவு அலுமீனியம்; டுராலியம்

E

Ebonite — எபொனைட்
Echo — எதிரொலி
Eddy current — சுழியோட்டம்
Effect — விளைவு
Elastic expansion — மீட்சி விரிவு
Elastic force — மீட்சி விசை
Elasticity — மீட்சியியல்
Elastic medium — மீளும் ஊடகம்
Elastic properties — மீட்சிக் குணங்கள்
Elastic system — மீட்சி முறை

Electric arc — மின் சுடர்
Electrical axis — மின் அச்சு
Electrical impulses — மின் தாக்குகள்
Electrically maintained fork — மின்னிசைக்கவை
Electric charge — மின்னூட்டம்
Electric field — மின்புலன்
Electric spark — மின்பொறி
Electro acoustic — மின்-ஒலி
Electromagnet — மின்காந்தம்
Electromagnetic waves — மின்காந்த அலைகள்
Electron — எலெக்ட்ரான்
Electroplating bath — மின்புலாம் பூசும் தொட்டி
Elevation — மேடு
Elliptical — நீள்வட்ட
Elongated — நீட்டப்பட்ட
Empirical formula — செயல்முறை விதி
Emulsion — குழம்பு
Enclosed jet — உறையிட்ட ஜெட்
Energy current — ஆற்றலோட்டம்
Equal temperament — சம சுதி மட்டுப்பாடு
Equal tempered scale — சம சுதி மட்டுப்பாட்டு அலகு
Equilibrium — சமநிலை
Equilibrium position — சமநிலைத் தடம்
Ether — ஈதர்
Evacuated — வெற்றிடமாக்கப்பட்ட
Even — இரட்டைப்படை
Even multiple — இரட்டைப்படை மடங்கு
Excessive reverberation — அளவுக்கு மீறிய எதிர்முழக்கம்
Excitation — இயக்கம்
Experiment — பரிசோதனை; ஆய்வு
Explossion — வெடிப்பொலி
Exponential function — அடுக்குக் குறிச் சார்பு
Exposed film — திறந்த மென்தாள்
Expression — கோவை
External forces — புறவிசைகள்
External sounds — புறவொலிகள்
Extraneous noise — வெளிக் கூச்சல்கள்
Extra tone — மிகை ஓசை
Extreme — எல்லையின் இறுதி
Eye piece — கண்ணருகு கருவி

F

Faint	—	மந்தமான
Faithful	—	உண்மையான
Ferromagnetic material	—	ஃபெர்ரோ காந்தப்பொருள்
Fibre needle	—	நரம்பு ஊசி
Fierce tone	—	கடுங்குரல்
Fifth tone	—	ஐந்தாம் சுருதி
Film	—	மென்தாள்
Filament	—	மின்னிழை
Fixed keys	—	நிலையான சாவிகள்; நிலையான கட்டைகள்
Flash	—	திடீரொளி
Flask	—	குடுவை
Flat spiral spring	—	தட்டைச் சுருள்வில்
Fluorescent	—	ஒளிரும்
Flute	—	புல்லாங்குழல்
Flux	—	பாயம்
Flying bullet	—	பறக்கும் குண்டு
Focal length	—	குவியத்தூரம்
Focus	—	குவியம்
Focussing	—	குவிதல்
Focussing action	—	குவியும் செயல்
Focussing effect	—	குவியும் விளைவு
Focussing of sound	—	ஒலிக்குவிதல்
Foil	—	மெல்லிதழ்
Forced oscillation	—	திணிப்பு அலைவு
Forced vibration	—	திணிப்பு அதிர்வு
Formula	—	வாய்பாடு, சூத்திரம்
Fourth power	—	நான்மடி
Free edges	—	சுய விளிம்புகள்
Free surface	—	வரம்பற்ற பரப்பு
Free vibrations	—	சுய அதிர்வுகள்
Frequency	—	அதிர்வெண்
Frequency meter	—	அதிர்வெண்மானி
Frets	—	மெட்டுகள்
Friction	—	உராய்வு
Frictionol forces	—	உராய்தல் விசைகள்
Frictionless	—	உராய்வற்ற
Full force	—	முழுவிசை
Function	—	சார்பு

Fundamental — மூலசுரம், ஆதார ஒலி
Fundamental note — முதல் சுரம்
Fundamental tone — மூல சுருதி
Funnel — புனல்

G

Gall stones — பித்தக் கற்கள்
Gas blower — வாயுப்புழை வழி
Gas supply tube — வாயு தானக் குழாய்
Gauze tone — காஸ் ஒலி
Generating — உருவாக்கும்
Generator — இயற்றி
Gradient — வாட்டம்
Graph — வரைபடம்
Graphically — வரைபடத்தால்
Grating — கீற்றணி
Grid circuit — கிரிட் சுற்று
Grid potential கிரிட் மின்னழுத்தம்
Grooved — குழிவு
Guide — செலுத்து

H

Hall — மன்றம்
Hammer — சுத்தி
Hanger — தொங்கி
Harmonic analysis — சீரிசை பகுப்பாய்வு
Harnomic echo — மேல்சுர எதிரொலி
Harmonic force — சீரிசை விசை
Harmonics — கிளை சுரங்கள், பல்கூட்டு; மேல்சுரங்கள்
Harmony — ஒருங்கு இசை
Head phone — தலை ஒலியம்
Head register — சிரப்பதிவு
Heat maintained — வெப்பக் காப்பாற்றல்
Hexagonal symmetry — அறுகோண சமச்சீர்
Higher harmonics — உயர் மேல்சுரங்கள்
High frequency — உயர் அதிர்வெண்
High frenquency vibrations — உயர் சுருதி அதிர்வுகள்
High pitch — உயர் சுருதி
High P.D — பெருத்த மின்னழுத்த வேறுபாடு

High tension — உயர் மின்னழுத்தம்
Hemispherical chamber — அரைக் கோளக் கூடம்
Homogeniety — ஒருமை
Horizontal — கிடை மட்டம்
Horizontal axis — கிடை மட்ட அச்சு; படுக்கை அச்சு
Horn — கொம்பு
Human voice — மனிதக் குரல்
Humidity — ஈரப்பதன்
Humming bees — பொம்மொலித் தேனீ
Humming sound — முரலொலி
Hum note — மந்தச் சுருதி
Hump — கொண்டை, முடி, திமில்
Hydralic press — அச்சு எந்திரம்
Hydralic pressure — அழுத்தம்
Hydrophone — ஹைட்ரோஃபோன்

I

Illuminate — ஒளி வீசு
Imaginary — கற்பனை
Impact — மோதல்
Impressed — பதிவாகும்
Impression — பதிவு
Impulse — கணத்தாக்கு
Inaudible — செவியுணரா
Inclined — சாய்ந்த
Inductance — மின் நிலைமம்
Induction coil — தூண்டு மின்சுருள்
Inert gas — மந்த வாயு
Inertia — நிலைமம்
Infra — புறம்பு
Inharmonic — முரணிசை
Inner zone — உள் மண்டலம்
Integral multiple — முழு எண் மடக்கை
Intensity — செறிவு
Intercept — வெட்டுத் துண்டு
Interface — இருதள முகப்பு
Interference — குறுக்கீட்டு விளைவு
Interferance pattern — குறுக்கீட்டுப் பாங்கு
Intermediate — இடைநிலை

Intermittent application — விட்டு விட்டு அளித்தல்
Interval — இடைவெளி
Inverse — எதிர்
Isothermal — சமவெப்ப

J

Jet — ஜெட்
Jet burner — ஜெட் விளக்கு
Just intonation — முறையான இசை

K

Key — சாவி; கட்டை
Kidney stones — குண்டிக் கற்கள்
Kinetic energy — இயக்க ஆற்றல்

L

Laboratory — சோதனைக் கூடம்;ஆய்வுக் கூடம்
Laborious experiment — கடுமையான ஆய்வுகள்
Lamina — தகடு
Lamina spiralis — லமினு ஸ்பைராலிஸ்
Layrinx — லாரிங்ஸ்
Lattice — அணிக்கோவை
Layer — அடுக்கு, படலம்
Ledge — சுவரின் விளிம்பு
Leeside — காற்றுப்படாத பக்கம்
Lengthwise edge — நீள்வாட்ட விளிம்பு
Light — இலேசான
Lime coated — சுண்ணும்பு பூசப்பட்ட
Limit of audibility — கேள்வித் திறன் எல்லை
Linear density — நெடுக்கை அடர்த்தி
Linear function — நெடுக்கைச் சார்பு
Living cell — உயிரணு
Living organism — உயிர்ப் பொருள்
Load — எடை, பளு
Logarithm — லாகரிதம்
Logarithmic cent — லாகரிதமிக் சதம், லாகரித விழுக்காடு
Longitudinal axis — நெட்டச்சு
Longitudinal piezo eleetric effect — நெட்டழுத்த மின் விளைவு

Longitudinal stationary waves	—	நெட்டலைவு நிலைஅலைகள்
Longitudinal vibrations	—	நெட்டதிர்வுகள்
Longitudinal waves	—	நெட்டலைகள்
Loop	—	வளையம், வளை, கண்டம்
Loud musical note	—	உரப்பான இசை ஒலி
Loudspeaker	—	ஒலி பெருக்கி
Lower harmonics	—	தாழ் மேல்சுரங்கள்
Low frequency	—	குறைந்த அதிர்வெண்
Low pressure	—	குறைந்த அழுத்தம்
Low temperature	—	கீழ் வெப்பநிலை

M

Magnetic field	—	காந்தப் புலம்
Magnetic recording	—	காந்த ஒலிப்பதிவு
Magnetisation	—	காந்த மூட்டல்
Magnetised	—	காந்த மேற்பட்ட
Magnetostriction	—	காந்தப் பரிமாண மாற்றம்
Magnification	—	உருப் பெருக்கம்
Magnify	—	ஒலிப் பெருக்கு
Maintained vibrations	—	காப்பதிர்வுகள்
Major diatonic scale	—	பெரிய டயட்டானிக் சுர வரிசை
Major scale	—	பேரலகு
Make and brake	—	செய்தலும் உடைத்தலும்
Manipulative mechanism	—	கையாளும் எந்திர நுட்பம்
Manometric flame	—	அழுத்த வேறுபாட்டுச் சுடர்
Mathematical	—	கணக்கியல், கணக்காக
Maximum	—	பெருமம்
Mechanical	—	எந்திர
Mechanical contact	—	எந்திரத் தொடர்பு
Mechanical effects	—	எந்திர விளைவுகள்
Medium	—	உட்பொருள்; ஊடகம்
Megaphone	—	வாய் ஒலிபரப்பி
Melody	—	ஒழுங்கிசை
Membrane	—	ஜவ்வு
Membraneous reed	—	தோல் நறுக்கு
Meridians	—	கோடுகள்
Metal gauze	—	கம்பி வலை
Method of coincidences	—	ஒன்றிப்பு முறை
Metronome	—	மெட்ரோனோம்

Microphone — மைக்ரோஃபோன்
Minimum — சிறுமம்
Minor scale — சிற்றலகு
Modes of vibration — அதிர்வு வகைகள்
Modulus — குணகம்
Moisture — ஈரம்
Molecular — மூலக் கூற்று
Momentary — கண நேரம்
Mother shell — தாய்ப்பிரதி, மூலப்பிரதி
Motor — மோட்டார்
Mould — வார்ப்படம்
Mouth of jet — ஜெட்டின் வாய்
Multiple — பல, மடங்கு
Multiple reflection — பன்முக பிரதிபலிப்பு
Musical echo — இசை எதிரொலி
Muffled quality — தணிந்த குரல்
Muscles — தசைகள்
Music — இசை
Music effect — இசை வளம்
Musical sounds — இசை ஒலிகள்

N

Narrow beam — குறுகிய கற்றை
Narrow slit — குறுகிய பிளவு
Natural diatonic scale — இயற்கை டயட்டானிக் சுர வரிசை
Natural frequency — இயல் அதிர்வெண்
Natural note — இயற்கை ஒலி
Negative — எதிர், குறை, ரிண
Negative pole — எதிர் முனை
Negative shell — எதிர்க் கூடு
Negative sign — ரிணக்குறி, குறைக்குறி
Nerves — நரம்புகள்
Net help — நிகர உதவி
Nickel plated — நிக்கல் முலாமிடப்பட்ட
Nodal line — அதிர்விலாக் கோடு
Nodal point — அதிர்விலாப் புள்ளி
Node — கணு
Noise — கூச்சல், இரைச்சல்
Norminal tone — பொய்ச் சுருதி

Normal incidence	—	செங்குத்தாகப் படுதல்
N.T.P.	—	திட்ட வெப்ப அழுத்தநிலை
Notation	—	குறி
Note	—	சுரம்

O

Objective	—	புற உணர்வு
Oblique	—	சாய்வு
Observatory	—	வானிலைக் கூடம்
Obstacle	—	தடை
Ocean bed	—	கடல் படுகை
Octave	—	எண்மம்
Odd	—	ஒற்றைப்படை
Odd multiple	—	ஒற்றைப்படை மடங்கு
Opacity	—	ஒலி புகா இயல்பு
Open window	—	திறந்த ஜன்னல்
Opposite senses	—	எதிர்த்திசைகள்
Optic axis	—	ஒளி அச்சு
Ordinates	—	நிலை அச்சுகள்
Organ of corti	—	கோர்ட்டி அங்கம்
Organ of speech	—	பேசும் உறுப்பு
Organ pipe	—	ஆர்கன் குழாய்
Orifice	—	நுண்துளை
Origin	—	மூலம்
Original	—	மூலப் பிரதி
Oscillations	—	அலைவுகள்
Out of tune	—	சுருதியற்று
Overlap	—	மேற்பொருந்து
Over tone	—	மேல் சுரம்

P

Paling	—	இடுமுள் வேலி
Parabolic mirror	—	பரவளைய ஆடி
Paraboloidal horn	—	பரவளையக் கொம்பு
Parallel		இணை
Pastenrise	—	பால் பதனிடல்
Path difference	—	பாதை வேறுபாடு
Pendulum	—	ஊசல்
Perceive	—	உணர்; காண்
Perception	—	உணர்வு

Percussion instrument — தோல் இசைக் கருவிகள்
Perfect synchronisation — சரியாக இணைதல்
Period — அதிர்வு நேரம்; அலைவு நேரம்
Periodic — கால நிர்ணயப்படி
Periodic compressions — கால நிர்ணய இறுக்கம்
Period expansions — கால நிர்ணய விரிவு
Periodicity — பொழுது நிகழ்வு
Perpendicular — லம்பம்
Persistence of vision — பார்வை நீடிப்பு
Phase — கட்டம்
Phase difference — அதிர்நிலை வேறுபாடு
Phase relation — அதிர்வுநிலைத் தொடர்பு
Phonautograph — ஃபோனேட்டா கிராஃப்
Phonic wheel — ஃபோனிக் சக்கரம்
Phonograph — ஃபோனேகிராஃப்
Phonograph recorder — ஒலிப்பதிவுக் கருவி
Photo electric cell — ஒளி மின்கலம்
Photo electric current — ஒளி மின்னேட்டம்
Photograph — ஒளிப்படம்
Photograph emulsion — ஒளிப்படக் குழம்பு
Physical quality — பௌதிகப் பண்பு
Physical quantity — பௌதிகப் பரும அளவு
Physical system — பௌதிக முறை
Physiological effects — உடற்கூறு விளைவுகள்
Piezo electric oscillations — அழுத்தமின் அலைவுகள்
Piezo electric oscillators — அழுத்தலின் துடிப்பான்கள்
Pinch clamp — கிள்ளுப் பிடிப்பி
Pin hole burner — ஊசித்துளை விளக்கு
Pitch — சுருதி
Plane — தளம்
Plane mirror — சமதள ஆடி
Plane of rotation — சுழல் தளம்
Plaster of paris — பாரிஸ் சாந்து
Plasticity — பிளாஸ்டிக் குணம்
Plate — தட்டு, தகடு
Platinum trip — பிளாட்டினம் முனை
Play back — திரும்ப ஒலியெழுப்புதல்
Pluck — மீட்டு
Plucked — மீட்டதிர்த்த
Plucked string instruments — மீட்டப்படும் கம்பி இசைக் கருவிகள்

Polarisation — தள விளைவு
Pole pieces — முனைத் துண்டுகள்
Polishing the edges — விளிம்பு மெருகேற்றல்
Portion — பகுதி
Porous — நுண் துளை
Positive — தனை; நேர்
Positive record — நேர்ப்பதிவேடு
Potential energy — நிலையாற்றல்
Potential of the grid — கிரிட் மின்னழுத்தம்
Powerful electromagnet — ஆற்றல் மிக்க மின்காந்தம்
Powerful light — வலிவான ஒளி
Precision time standard — நுட்ப நேர படித்தரம்
Pressure change — அழுத்த மாற்றம்
Pressure tubing — அழுத்தமான குழாய்
Primary coil — முதன்மைச் சுருள்
Progression — தொடர்
Progressive waves — தொடர் அலைகள்
Prominent — எடுப்பான
Prong — கவர் முள்; கவை முள்
Proportional — தகுந்தாற் போல்
Protrusions — பிதுக்கங்கள்
Psychological effect — உள்ளுணர்வு விளைவு
Pulley — கப்பி; சகடை
Pulse — துடிப்பு

Q

Quadrant — கால் வட்டம்
Quality — குணம், சுரப்பண்பு
Quality of sound — ஒலிப்பண்பு
Quantitative measurement — அளவெடுப்புகள்
Quartz — குவார்ட்ஸ்
Quick contraction — விரைவான சுருக்கம்
Quick expansion — விரைவான பெருக்கம்

R

Radar — ராடார்
Radial slots — ஆரவிளிம்பு துவாரங்கள்
Radius — ஆரம்
Range of frequencies — அதிர்வெண் நெடுக்கம்
Rarefaction — தளர்த்தி

Rate of decay — அழியும் வேகம்
Ratio — விகிதம்
Ratio of sp. heats — வெப்ப எண் விகிதம்
Rattling — கடகடவென்றொலித்தல்
Recording — பதிவிடல்
Recording head — பதிவு செய்யும் விசை
Record material — பதிவிடும் பொருள்
Rectangular — செவ்வக
Red hot — சிவக்கச் சூடேற்றல்
Reed blown instrument — நறுக்கு ஊது இசைக் கருவி
Reel — சுருள்
Reflecting bodies — பிரதிபலிக்கும் பொருள்கள்
Reflection — பிரதி பலிப்பு
Refraction — ஒலி விலகல்
Regions — பகுதிகள்
Regular — ஒழுங்கான
Regulating the pitch — சுருதியை ஒழுங்கிடுதல்
Regulating the rotation — சுழற்சியைச் சீர்படுத்தல்
Reinforce — வலுப்படுத்து, வலியூட்டு
Reinforcement of sound — ஒலி பலப்படல்
Reissner membrane — ரீஸ்னர் ஜவ்வு
Relative intensity — ஒப்புச் செறிவு
Relative speed — ஒப்பு வேகம்
Relative strength — தொடர்பு வலிமை
Relative velocity — ஒப்புவிசை வேகம்
Remanance — மீந்த காந்தம்
Reproducing head — பிரதிபலிக்கும் விசை
Reproduction — ஒலி மீட்டல்
Requisites — தேவைகள்
Reservoir — தேக்கி
Resonance — ஒத்திசைவு
Resonance column — ஒத்திசைத் தம்பம்
Resonant upper partials — ஒத்திசைக்கும் மேல் சுரங்கள்
Restoring force — மீள் விசை
Resultant — விளைவு
Retardation — சுணக்கம்
Retarding force — சுணக்கவிசை
Reverberation — எதிர் முழக்கம்
Reversible phenomena — நேர் எதிர் நிகழ்ச்சி
Rheostat — மின் தடை மாற்றி

Rhythm — லயம்
Richness — வளம்
Rider — ஏறி, பறவை
Rigic boundary — திண் சுவர்
Rigidity modulus — விறைப்புக் குணகம்
Rock salt — இந்துப்பு
Rotation mirror — சுழல் ஆடி
Rotation — சுழற்சி
Rumbling — உறுமல் ஒலி

S

Saturation — தெவிட்டு நிலை
Scala tympani — ஸ்கேலா டிம்பானி
Scala vestibuli — ஸ்கேலா வெஸ்டிபுயூலி
Scale — சுர வரிசை; அளவுகோல்
Scalpel — கத்தி
Scanned — வரி வரியாக ஆராய்தல்
Scatterer — சிதறலேற்படுத்தும் பொருள்
Scattering — சிதறல்
Scattering of sound — ஒலிச்சிதறல்
Screen — திரை
Seat of sensitiveness — உணர்வின் இருப்பிடம்
Secondary coil — துணைச் சுருள்
Second order — இரண்டாம் வரிசை
Section — வெட்டுவாய்
Segment — துண்டு
Self maintaining action — தற்காப்புச் செயல்
Sensitive — உணர்வுடைய
Sensitive flame — உணர்வுச் சுடர்
Sensitive jet — உணர்வுச் சுடர்
Sensitiveness — உணர்வு
Sensitivity — கூருணர்வு
Sequence — தொடர், வரிசை
Series — தொடர்
Set — தொகுதி
Shaken to pieces — தூளாகக் குலுக்கப்பட்ட
Shearing — சறுக்கு
Shell — கூடு
Shoals of fish — மீன் கூட்டங்கள்
Shoot up — மேலே எழும்பு

Shriller notes — கீச்சொலிகள்
Shrill voice — கீச்சுக் குரல்
Simple harmonic — சீரிசை
Simple harmonically — சீரிசையாக
Simple harmonically motion — சீரிசை இயக்கம்
Simple mode — எளிய வகை
Sine curve — சைன் வளைகோடு
Singing flame — பாடும் சுடர்
Siren — வட்டுச் சங்கு
Slender flame — நுண்சுடர்
Slit — துளை; பிளவு
Slope — சரிவு; சாய்வு
Smoked — புகை படர்ந்த
Smoked paper — புகையிடப்பட்ட காகிதம்
Solid objects — திடப் பொருள்கள்
Sonar — ஸோனார்
Sonics — ஒலி
Sonorous — ஒலியுடைய
Sound absorption — ஒலி யுட்கவர்தல்
Sound impulse — ஒலித்தாக்கு
Sound board — ஒலிக்கும் பலகை
Sounding box — ஒலிக்கும் பெட்டி
Sound insulation — ஒலிக்காப்பு
Space — இடம்
Special process — பிரத்தியேக முறை
Specific volume — சூட்டுப் பருமன்
Spectrum — ஒலி மாலை
Spherical surface — கோளப் பரப்பு
Spiral — சுருள்
Spool — கண்டு; வட்டு
Spray — தெளித்தல்
Spring factor — வில் கூறு
Square — வர்க்கம்
Square root — வர்க்க மூலம்
Stability — உறுதி
Stage — கட்டம்
Standard axis — படித்தர அச்சுகள்
State of vibration — துடிக்கும் நிலை
Stationary vibrations — நிலை அதிர்வுகள்
Stationary waves — நிலை அலைகள்

Stator — ஸ்டேடார்
Steady frequencies — நிலையான அதிர்வெண்கள்
Steady high pressure — சீரான பேரழுத்தம்
Steady motion — சீரான இயக்கம்
Steady state — சீரான நிலை; மாறு நிலை
Steady value — சீரான மதிப்பு
Steatite — நுரைக்கல்
Steel — எஃகு
Stem — தண்டு
Stethoscope — இதயத் துடிப்புமானி
Stirrup — கொக்கி
Strain — திரிபு
Strained — திரிபுற்ற
Strained of music — தொடர் இசை; இசை ஒலி
Stress — தகைவு
Stretched — இழுக்கப்பட்ட
Stretched membrance — நீட்டப்பட்ட ஜவ்வு
Strew — தெளி; தூவு
Striations — வரிப் பள்ளங்கள்
Strike — தாக்கு
Stringed instrument — கம்பி இசைக்கருவி
Stroboscope — ஸ்ட்ரோபாஸ்கோப்
Strongly excited — பலமாக இயக்கப்பட்ட
Struck string instruments — தட்டப்படும் கம்பி இசைக் கருவிகள்
Style — எழுத்தாணி
Subjective — அக உணர்வு
Submarine — நீர்மூழ்கிக் கப்பல்
Successive sounds — அடுத்தடுத்த ஒலிகள்
Summational — மிகுவோசை
Superimpose — பொருந்து
Supersonic — ஒலி வேகத்திற்கு மேற்பட்ட
Supply tube — தரவுக் குழாய்
Syllable — சொற்றொடர்
Symmetric — சமச் சீரான
System — மண்டலம்; முறை

T

Tangential force — தொடுவாய் விசை
Tap — வடிமுனை

Tepe — நாடா

Technical — தொழில் நுட்ப; கலை நுட்ப

Technical acoustics — தொழில் நுட்ப ஒலி இயல்

Telephone — தொலைபேசி

Telephone receiver — தொலைபேசி ஏற்பி

Telephone transmitter — தொலைபேசி பரப்பி

Temperament — சுதி மட்டுப்பாடு

Tempered scale — சம சுதி சுர வரிசை

Tensile stress — நீட்சித் தகைவு

Tension — இழுவிசை

Terminal — முனை; திருகு முனை

Theorem — தேற்றம்

Theory — கொள்கை

Thermal energy — வெப்ப ஆற்றல்

Thermionic valve — வெப்ப அயனி வால்வு

Thin strip — மெல்லிய தகடு

Third order — மூன்றும் வரிசை

Timbre — சுரப்பண்பு

Time — காலம்

Time of reverberation — எதிர் முழக்க நேரம்

Tissue membrance — மெல்லிழை ஜவ்வு

Tissue paper — மெல்லிழைத் தாள்

Tone — சுருதி; ஓசை

Torque — இரட்டைத் திருப்புதிறன்

Torsional — முறுக்கு

Total internal reflection — முழு எதிரொலிப்பு

Tourmaline — டூர்மலின்

Toy motor — சிறு மோட்டார்

Trace — வரை; வரைபடம்

Transducer — ஆற்றல் மாற்றி

Transmission — பரப்புதல்

Transmit — பரப்பு; செலுத்து

Transparency — ஒலிபுகும் இயல்பு

Transparent — ஒலி புகவல்ல

Transverse piezo electric effect — குறுக்கழுத்த மின் விளைவு

Transeverse stationary waves — குறுக்கு நிலை அலைகள்

Transverse waves — குறுக்கு அலைகள்

Travelyan's rocker — டிரவெல்யன் ராக்கர்

Triangular prism — முக்கோணப் பட்டகம்

Trough — அகடு

Tuning fork — இசைக்கவை
Tungsten filament — டங்ஸ்டன் மின்னிழை
Type — வகை

U

Ultra — கீழ்ப்புறம்
Ultrasonics — செவியுணரா ஒலியியல்
Undulations — அலைகள்
Unilateral — ஒரு பக்கமான
Unit — அலகு
Unit displacement — ஓர் அலகு இடப்பெயர்ச்சி
Unit mass — ஓர் அலகு எடை
Unit of absorption — உட்கவரலின் அலகு
Upper partials — மேல் சுரங்கள்
U-tube monometer — U-குழாய் அழுத்தமானி

V

Valve maintained — வெப்ப அயனி வால்வால் காக்கப்படும்
Valve oscillator — வால்வு அலைவு இயற்றி
Variable condenser — மாற்றியல் மின்தேக்கி
Variable density method — மாறுபடும் அடர்த்தி முறை
Variable width method — மாறுபடும் பரப்பு முறை
Varying width — மாறுபடும் பரட்பு
Vector sum — வெக்டர் கூட்டுத் தொகை
Veiled quality — கம்மு குரல்
Vertical — செங்குத்தான; செங்குத்து
Vertical oscillations — செஙகுத்தான அலைவுகள்
Vibrating systems — அதிரும் முறைகள்
Vibrational — அதிரும்
Vibration ratio — அலைவுத் தகவு
Vibrations — அதிர்வுகள்
Vinylite — வைனிலைட்
Viscosity — பாகுநிலை
Vocal cords — குரல் நாண்கள்
Voltage — மின்னழுத்தம்
Volume of sound — ஒலிச் செறிவு
Vortex — சுழிப்பு
Vowel flame — உயிரொலிச் சுடர்
Vowel sound — உயிரொலி

W

Waning	—	ஒலியழிதல்; தேய்வு
Wave front	—	அலைமுகம்
Wave length	—	அலை நீளம்
Wavy groove	—	அலை கீறல்
Waxing	—	ஒலியெழுதல் ; வளர்ச்சி
Whispering gallery	—	மெல்லொலி மாடம்
Wind blown	—	காற்றூதப்பட்ட
Wind blown instrument	—	காற்று ஊது கருவிகள்
Wind chest	—	காற்றுப் பெட்டி
Wind instruments	—	காற்று இசைக் கருவிகள்
Wind pipes	—	சுவாசக் குழாய்
Wiping head	—	அழிக்கும் விசை
Wit hout flare	—	சுடரின்றி
Without rolling	—	புரளாமல்
W orking matrix	—	மூல வார்ப்பு உரு

X

X-axis	—	X-அச்சு; கிடை அச்சு

Y

Y-axis	—	Y-அச்சு; நிலை அச்சு
Young's modulus	—	மீட்சிக் குணகம்

Z

Zinc	—	துத்தநாகம்
Zone	—	மண்டலம்
Zones of audibility	—	கேட்கும் மண்டலங்கள்
Zones of silence	—	அமைதி மண்டலங்கள்

கலைச்சொல் அகராதி

(தமிழ்—ஆங்கிலம்)

அ

அக உணர்வு — Subjective
அகடு — Trough
அச்சு — Axis
அச்சு எந்திரம் — Hydraulic press
அஸெட்டலின் எரிபொருள் — Acetylene gas
அஸ்பெஸ்டாஸ் — Asbestos
அடர்த்தி — Density
அடுக்கு — Layer
அடுக்குக் குறிச் சார்பு — Exponential function
அடுத்தடுத்த ஒலிகள் — Successive sounds
அணிக்கோவை — Lattice
அதிர்வு — Vibration
அதிரும் முறை — Vibrating system
அதிர்விலாக் கோடு — Nodal line
அதிர்விலாப் புள்ளி — Nodal point
அதிர்வின் பகுதி — Component vibration
அதிர்வு நிலை வேறுபாடு — Phase difference
அதிர்வு நேரம் — Period
அதிர்வு வகைகள் — Modes of vibration
அதிர்வெண் — Frequency
அதிர்வெண் நெடுக்கம் — Range of frequencies
அதிர்வெண் மானி — Frequency meter
அமைதி மண்டலங்கள் — Zones of silence
அமைப்பு — Design
அரைகோளக் கூடம் — Hemispherical chamber
அலகு — Unit
அலகு எடை — Unit mass
அலைகள் — Undulations
அலை கீறல் — Wavy groove

அலை நீளம் — Wave length
அலை முகம் — Wave front
அலைவுகள் — Oscillations
அலைவுத் தகவு — Vibration ratio
அலைவு முறை — Vibrating system
அழி — Annul
அழிக்கும் விசை — Wiping head
அழியும் வேகம் — Rate of decay
அழுத்த மாற்றம் — Pressure change
அழுத்தமான குழாய் — Pressure tubing
அழுத்த மின் அலைகள் — Piezo electric oscillations
அழுத்த மின் துடிப்பான் — Piezo electric oscillator
அழுத்தம் — Hydraulic pressure
அழுத்த வேறுபாட்டுச் சுடர் — Manometric flame
அளவீடு செய்தல் — Calibration
அளவு — Dimension
அளவுகோல் — Scale
அளவுமீறிய எதிர்முழக்கம் — Excessive reverberation
அளவெடுப்பு — Quantitative measurement
அறுகோண சமச்சீர் — Hexagonal symmetry
அனுப்பு — Convey

ஆ

ஆதார ஒலி — Fundamental
ஆய்வுக்கூடம் — Laboratory
ஆரம் — Radius
ஆர விளிம்பு துவாரங்கள் — Radial slots
ஆர்கன் குழாய் — Organ pipe
ஆர்ட்டிக் மண்டலம் — Artic region
ஆல்க்கஹால் — Alcohol
ஆற்றலோட்டம் — Energy current
ஆற்றல் மாற்றி — Transducer
ஆற்றல்மிக்க மின் காந்தம் — Powerful electromagnet

இ

இசை — Music
இசை எதிரொலி — Musical echo
இசை ஒலிகள் — Musical sounds
இசைக் கவை — Tuning fork
இசையொலி — Strain of music

இசை வளம் — Musical effect
இடப் பெயர்ச்சி — Displacement
இடம் — Space
இடுக்குகள் — Crevices
இடு முள்வேலி — Paling
இடைத்திரை — Diaphragm
இடைநிலை — Intermediate
இடைவெளி — Interval
இணை — Parallel
இணைக்கப்பெற்ற — Compounded
இணைச் சுருதி — Composite note
இதயத் துடிப்புமானி — Stethoscope
இந்துப்பு — Rocksalt
இயக்க ஆற்றல் — Kinetic energy
இயக்கம் — Excitation
இயந்திர முறை — Clockwork
இயல் அதிர்வெண் — Natural frequency
இயல்புகள் — Characteristics
இயற்கை ஒலி — Natural note
இயற்கை டயட்டானிக் சுர வரிசை — Natural diatonic scale
இயற்றி — Generator
இரட்டை இறுக்கம் — Double compression
இரட்டைத் தளர்த்தி — Double rarefaction
இரட்டைத் திருப்புதிறன் — Torque
இரட்டைப்படை — Even
இரட்டைப்படை மடங்கு — Even multiple
இரண்டாம் வரிசை — Second order
இருதள முகப்பு — Interface
இலேசான — Light
இழுவிசை — Tension
இழுக்கப்பட்ட — Stretched
இழுவை — Drag
இறுக்கத் தகைவு — Compressive stress
இறுக்கம் — Compression

ஈ

ஈதர் — Ether
ஈரப்பதன் — Humidity
ஈரம் — Moisture

உ

உடல்கூற்று விளைவு	—	Psychological effect
உட்கவரலின் அலகு	—	Unit of absorption
உட்கவர் எண்	—	Absorption coefficient
உட்கவர்தல்	—	Absorption
உட்பொருள்	—	Medium
உணர்	—	Discern, perceive
உணர்வின் இருப்பிடம்	—	Seat of sensitiveness
உணர்வு	—	Perception
உணர்வுச் சுடர்	—	Sensitive flame, sensitive jet
உணர்வுடைய	—	Sensitive
உணர்வு	—	Sensitiveness
உண்மையான	—	Faithful
உபாயம்	—	Device
உயர் அதிர்வெண்	—	High frequency
உயர் சுருதி	—	High pitch
உயர் சுருதி அதிர்வுகள்	—	High frequency vibrations
உயர் மின்னழுத்தம்	—	High tension
உயர் மேல் சுரங்கள்	—	Higher harmonics
உயிரணு	—	Living cell
உயிரொலி	—	Vowel sound
உயிரொலிச் சுடர்	—	Vowel flame
உயிர்ப் பொருள்	—	Living organism
உரப்பான இசை ஒலி	—	Loud musical note
உரப்பொலி	—	Loud sound
உராய்தல் விசை	—	Frictional force
உராய்வற்ற	—	Frictionless
உராய்வு	—	Friction
உருக்குலைவு	—	Distortion
உருப்பதிவுப் பெட்டி	—	Camera
உருப்பெருக்கம்	—	Magnification
உருவாக்கும்	—	Generating
உருவிளக்கம்	—	Development
உருளை	—	Cylinder
உறையிட்ட ஜெட்	—	Enclosed jet
உளிமுனை	—	Chisel shaped pole
உள் அழுத்தம்	—	Compressive stress
உள் மண்டலம்	—	Inner zone
உள்ளுணர்வு விளைவு	—	Psychological effect

உறுதி — Stability
உறுமல் ஒலி — Rumbling sound

ஊ

ஊசல் — Pendulum
ஊசித்துளைச் சுடர் — Pin-hole burner
ஊடகம் — Medium
ஊது துளை — Blow hole

எ

எஃகு — Steel
எடை — Load
எடுப்பான — Prominent
எண் — Coefficient, number
எண்மம் — Octave
எதிரொலி — Echo
எதிர் — Inverse, negative
எதிர்க்கணு — Antinode
எதிர்க்கூடு — Negative shell
எதிர்த் திசைகள் — Opposite senses
எதிர் மின்கதிர் ஆஸிலோகிராஃப் — Cathode rav oscillograph
எதிர் மின் வாய் — Cathode
எதிர் மின்னியக்குவிசை — Back E.M.F.
எதிர்முழக்கத் தணிப்பு — Anti-reverberation
எதிர்முழக்க நேரம் — Time of reverberation
எதிர்முழக்கம் — Reverberation
எதிர்முனை — Negative pole
எபொனைட் — Ebonite
எலெக்ட்ரான் — Electron
எல்லையின் இறுதி — Extreme
எழுத்தாணி — Style
எளிய வகை — Simple mode

ஏ

ஏ. ஸி. புலன் — A. C. field
எந்திர — Mechanical
எந்திரத் தொடர்பு — Mechanical contact
எந்திர விளைவு — Mechanical effect
ஏறி — Rider

ஐ

ஐந்தாம் சுருதி	—	Fifth tone

ஒ

ஒத்திசை	—	Concord, consonance
ஒத்திசைக்கும் மேல்சுரம்	—	Resonant upper partial
ஒத்திசைத் தம்பம்	—	Resonance column
ஒத்திசைவு	—	Resonance
ஒத்து	—	Droning instrument
ஒத்தோசையெழுப்பும் ஈக்கள்	—	Droning flies
ஒப்புச் செறிவு	—	Relative intensity
ஒப்பு விசை வேகம்	—	Relative velocity
ஒப்பு வேகம்	—	Relative speed
ஒருங்கு இசை	—	Harmony
ஒரு பக்கமான	—	Unilateral
ஒருமை	—	Homogeneity
ஒலி	—	Sonics, sound
ஒலி உட்கவரல்	—	Sound absorption
ஒலி குறுக்கீட்டுமானி	—	Acoustic interferometer
ஒலி குறைதல்	—	Depletion of sound
ஒலிக்கலை	—	Acoustics
ஒலிக்காப்பு	—	Sound insulation
ஒலிக்கும் பலகை	—	Sounding board
ஒலிக்கும் பெட்டி	—	Sounding box
ஒலிக்குவிதல்	—	Focussing of sound
ஒலிச் சிதறல்	—	Scattering of sound
ஒலிச் செறிவு	—	Volume of sound
ஒலித்தாக்கு	—	Sound impulse
ஒலி பலப்படல்	—	Reinforcement of sound
ஒலிபுகா இயல்பு	—	Opacity
ஒலிபுகும் இயல்பு	—	Transparency
ஒலிப்பண்பு	—	Quality of sound
ஒலிப்பதிவுக் கருவி	—	Phonograph recorder
ஒலிபெருக்கி	—	Loudspeaker
ஒலிப் பெருக்கு	—	Magnify
ஒலி மாலை	—	Spectrum
ஒலி மீட்டல்	—	Reproduction
ஒலி முறை ஆழங்காணல்	—	Depth sounding
ஒலியழிதல்	—	Waning
ஒலியுடைய	—	Sonorous

ஒலியெழுதல்	— Waxing
ஒலி விரிதல்	— Depletion of sound
ஒலி விலகல்	— Refraction of sound
ஒலி விளக்கம்	— Development
ஒலி வேகத்திற்குமேல்	— Supersonic
ஒவ்வா இசை	— Discord, dissonance
ஒழுங்கிசை	— Melody
ஒளி அச்சு	— Optic axis
ஒளி புகவல்ல	— Transparent
ஒளிப்படக் குழம்பு	— Photographic emulsion
ஒளிப்படம்	— Photograph
ஒளி மின்கலம்	— Photo electric cell
ஒளி மின் ஓட்டம்	— Photo electric current
ஒளிரும்	— Fluorescent
ஒளிரும் திரை	— Fluorescent screen
ஒளி வீசு	— Illuminate
ஒற்றைப்படை	— Odd
ஒற்றைப்படை மடங்கு	— Odd multiple
ஒன்றிப்பு முறை	— Method of coincidences

ஓ

ஓசை	— Tone
ஓரலகு இடப்பெயர்ச்சி	— Unit displacement

ஃ

ஃபெர்ரோ காந்தப்பொருள்	— Ferromagnetic material
ஃபோனிக் சக்கரம்	— Phonic wheel
ஃபோனாட்டகிராஃப்	— Phonautograph
ஃபோனாகிராஃப்	— Phonograph

க

கடகடவென ஒலித்தல்	— Rattling
கடத்தல்	— Conduction
கடத்தி	— Conduct
கடல் படுகை	— Ocean bed
கடிகார ஒலி	— Click of the watch
கடுங்குரல்	— Fierce tone
கடினமயான ஆய்வுகள்	— Loborious experiments
கட்டட ஒலியியல்	— Building acoustics
கட்டடப் பொருள்	— Building material

கட்டம் — Phase, stage
கட்டுப்படுத்தப்பட்ட — Controlled
கட்டுப்படுத்தும் விசை — Control device
கட்டை — Key
கணக்காக — Mathematical
கணக்கியல் — Mathematical
கணத்தாக்கு — Impulse
கண நேரம் — Momentary
கணு — Node
கண்டம் — Loop
கண்டு — Loop
கண்ணருகு கருவி — Eye-piece
கத்தி — Scalpel
கப்பி — Pulley
கம்பி இசைக் கருவி — Stringed instrument
கம்பி வலை — Metal gauze
கம்மு குரல் — Veiled quality
கரி வளி வழங்கீடு — Coal gas supply
கருவியின் வரம்பு — Compass of the instrument
கலக்கம் — Agitation
கலப்பு உலோகம் — Alloy
கலப்பொலி — Compound note
கலைஞர் — Architect
கவர்தல் — Abstraction
கவர்முள் — Prong
கற்றை — Beam
கற்பனை — Imaginary
கன வடிவம் — Cubic
கனலிஸ் காக்ளியாரிஸ் — Canalis cochlearis
காஜ் ஒலி — Gauze tone
காண் — Perceive
காது ஜவ்வு — Drum
காந்த ஒலிப்பதிவு — Magnetic recording
காந்த நீக்குதிறன் — Coercivity
காந்தப் பரிமாண மாற்றம் — Magnetostriction
காந்தப்புலன் — Magnetic field
காந்தமழிக்கும் விளைவு — Demagnetising effect
காந்தமழித்தல் — Demagnetisation
காந்தமேற்றப்பட்ட — Magnetised
காந்தமூட்டல் — Magnetisation

காப்பதிர்வுகள்	—	Maintained vibrations
காப்பர் வோல்ட்டா மீட்டர்	—	Copper voltameter
கால நிர்ணய இயக்கம்	—	Periodic compressions
காலம்	—	Time
கால வரைவி	—	Chronograph
கால் வட்டம்	—	Quadrant
காற்று இசைக்கருவி	—	Wind instrument
காற்று ஊதப்பட்ட	—	Wind blown
காற்று ஊது கருவி	—	Wind blown instrument
காற்றுப்படாத பக்கம்	—	Leeside
காற்றுப் பெட்டி	—	Wind chest
காற்றுப் பொந்துகள்	—	Air cavities
காற்றுறிஞ்சி ஜாடி	—	Aspirator jar
கிடைமட்ட அச்சு	—	Horizontal axis
கிரிட் சுற்று	—	Grid circuit
கிரிட் மின்னழுத்தம்	—	Potential of the grid
கிரீச்சொலிக்கும் வெட்டுக்கிளி	—	Chirping crickets
கிளை சுரங்கள்	—	Harmonics
கிள்ளுப் பிடிப்பி	—	Pinch clamp
கீச்சுக் குரல்	—	Shrill voice
கீச்சொலி	—	Shrill note
கீழ்ப்புறம்	—	Ultra
கீழ்வெப்பநிலை	—	Low temperature
கீற்றணி	—	Grating
குடுவை	—	Flask
குணகம்	—	Modulus
குணம்	—	Quality
குண்டிக் கற்கள்	—	Kidney stones
குதிரை	—	Bridge
குரல் நாண்கள்	—	Vocal cords
குவார்ட்ஸ்	—	Quartz
குவிதல்	—	Focussing
குவியத்தூரம்	—	Focal length
குவியம்	—	Focus
குவியும் செயல்	—	Focussing action
குவிமாடம்	—	Dome
குவிவில்லை	—	Convex lens
குழம்பு	—	Emulsion
குழி ஆடி	—	Concave mirror
குழிவு	—	Groove

குறி	Notation
குறுகிய கற்றை	Narrow beam
குறுகிய பிளவு	Narrow slit
குறுக்கலை	Transverse wave
குறுக்கழுத்த மின் விளைவு	Transverse piezo-electric effect
குறுக்கீட்டுப் பாங்கம்	Interference pattern
குறுக்கீட்டு விளைவு	Interference
குறுக்கு நிலை அலைகள்	Transverse stationary waves
குறுக்கு வெட்டு	Cross-section
குறைக் குறி	Negative sign
குறைந்த அதிர்வெண்	Low frequency
குறைந்த அழுத்தம்	Low pressure
கூடல்	Combination
கூடு	Shell
கூட்டு நுண்ணோக்கி	Compound microscope
கூட்டோசை	Combination tone
கூச்சல்	Noise
கூம்பான	Conical
கூம்பான குழாய்	Conical pipe, conical tube
கூம்பு	Cone
கூம்புக் கொம்பு	Conical horn
கூருணர்வு	Sensitivity
கூழ்ப்பால் கரைசல்	Colloidal solution
கூறு ஒலி	Component note
கேட்கக்கூடிய	Audible
கேட்கும் மண்டலங்கள்	Zones of audibility
கேட்பவர்	Auditor
கேள்திறன் எல்லை	Audibility limit
கேள்வித்திறன் எல்லை	Limit of audibility
கேள்வி நரம்பு	Auditory nerve
கையாளும் இயந்திர நுட்பம்	Manipulative mechanism
கொக்கி	Stirrup
கொண்டை	Hump
கொம்பு	Horn
கொள்கை	Theory
கோடுகள்	Meridians
கோணத்திசை வேகம்	Angular velocity
கோர்ட்டி அங்கம்	Organ of corti
கோளப்பரப்பு	Spherical surface
கோவை	Expression

ஹ

ஹைட்ரோஃபோன் — Hydrophone

ஜ

ஜவ்வு — Membrane
ஜெட் — Jet
ஜெட்டின் வாய் — Mouth of the jet
ஜெட் விளக்கு — Jet burner

ஸ

ஸெலோடெக்ஸ் — Celotex
ஸைன் வளைகோடு — Sine curve
ஸோனார் — Sonar
ஸ்கேலா டிம்பனி — Scala tympani
ஸ்கேலா வெஸ்டிபுலி — Scala vestibuli
ஸ்டேடார் — Stator
ஸ்ட்ரோபாஸ்கோப் — Stroboscope

ச

சகடை — Pulley
சம சுதி சுர வரிசை — Tempered scale
சம சுதி மட்டுப்பாடு — Equal temperament
சம சுதி மட்டுப்பாட்டு அலகு — Equal tempered scale
சமச்சீரற்ற — Asymmetric
சமச்சீரற்ற முறை — Asymmetric system
சமச்சீரான — Symmetric
சமச்சீர் — Symmetry
சமதள ஆடி — Plane mirror
சம நிலை — Equilibrium
சமநிலைத் தடம் — Equilibrium position
சமவெப்ப — Isothermal
சரியாக இணைதல் — Perfect synchronisation
சரிவு — Slope
சறுக்கு — Shearing
சாய்வு — Slope, oblique
சார்பிலா — Absolute
சாய்ந்த — Inclined
சாவி — Key
சிக்கலான — Complex
சிதறலேற்படுத்தும் பொருள் — Scatterer

சிதறல் — Scattering
சிரப்பதிவு — Head register
சிறுமம் — Minimum
சிறு மோட்டார் — Toy motor
சிற்பி — Architect
சிற்றலகு — Minor scale
சிவக்கச் சூடேற்றல் — Red hot
சீரான இயக்கம் — Steady motion
சீரிசை — Simple harmonic
சீரிசை இயக்கம் — Simple harmonic motion
சீரிசைப் பகுப்பாய்வு — Harmonic analysis
சீரிசையாக — Simple harmonically
சீரிசை விசை — Harmonic force
சீர் செய்யும் திருகு முகப்பு — Adjusting screw head
சுடரின்றி — Without flare
சுடரை இணங்கச் செய்தல் — Coax the flame
சுடர்விடல் — Arcing
சுணக்கம் — Retardation
சுணக்க விசை — Retarding force
சுண்ணும்பு பூசப்பட்ட — Lime coated
சுதி மட்டுப்பாடு — Temperament
சுத்தி — Hammer
சுய அதிர்வுகள் — Free vibrations
சுய விளிம்புகள் — Free edges
சுரப்பண்பு — Timbre, quality
சுரம் — Note
சுரவரிசை — Scale
சுருதி — Tone, pitch
ருதியற்று — Out of tune
சுருதியை ஒழுங்கிடுதல் — Regulating the pitch
சுருளில் ஏற்படும் பாயம் — Flux in the coil
சுருள் — Spiral, reel, coil
சுருள் வளை — Cochlea
சுவரின் விளிம்பு — Ledge
சுழலச்சு — Axis of rotation
சுழல் ஆடி — Rotating mirror
சுழற்சி — Rotation
சுழற்சியைச் சீர்படுத்தல் — Regulating the rotation
சுழல் தளம் — Plane of rotation
சுழிப்பு — Vortex

சுழியோட்டம் — Eddy currents
சுவாசக் குழாய்கள் — Wind pipes
சுற்று — Cycle, circuit
சுற்றுப் பாதை — Circuitous route
சூட்டுப் பருமன் — Specific volume
சூத்திரம் — Formula
செங்குத்து — Vertical
செங்குத்து அலைகள் — Vertical oscillations
செதுக்கப்பட்ட — Chiselled
செயல்முறை விதி — Empirical formula
செய்தலும் உடைத்தலும் — Make and break
செலுத்து — Transmit, guide
செவிக்குழாய் — Auditory canal
செவியுணரா — Inaudible
செவியுணரா ஒலியியல் — Ultrasonics
செவியுணர் திறன் எல்லை — Audibility range
செவ்வக — Rectangular
செறிவு — Intensity
சொற்றொடர் — Syllable
சோதனைக் கூடம் — Laboratory

ட

டங்ஸ்டன் மின்னிழை — Tungsten filament
டாப்ளர் விளைவு — Doppler effect
டிரெவெல்யன் ராக்கர் — Trevelyan's rocker
டுராலியம் — Duralium
டூர்மலின் — Tourmaline

த

தகடு — Plate, lamina
தகுந்தாற்போல் — Proportional
தகைவு — Stress
தக்கை — Cork
தசைகள் — Muscles
தடை — Obstacle
தடையிடும் திண்டு — Damping pad
தடையுற்ற — Damped
தடையுற்ற அலைகள் — Damped oscillations
தட்டப்படும் கம்பி இசைக் கருவிகள் — Struck string instruments
தட்டு — Plate, disc
தட்டைச் சுருள் வில் — Flat spiral spring

தணை	—	Positive
தணிந்த குரல்	—	Muffled quality
தண்டு	—	Stem, bar
தம்பம்	—	Column
திறமை	—	Capacity
தம்பூர்	—	Droning instrument
தரவுக் குழாய்	—	Supply tube
தலை ஒலியம்	—	Head phone
தளம்	—	Plane
தளர்த்தி	—	Rarefaction
தள விளைவு	—	Polarisation
தற்காப்புச் செயல்	—	Self maintaining action
தனி	—	Absolute
தனி வெப்பநிலை	—	Absolute temperature
தாக்கு	—	Strike
தாய்ப் பிரதி	—	Mother shell
தாழ்ந்த ஒலி	—	Basser notes
தாழ்ந்த குரல்	—	Basser voice
தாழ் மேல் சுரங்கள்	—	Lower harmonics
திசைப்படுத்து	—	Direct
திசைமாறு காந்தப்புலன்	—	Alternating magnetic field
திசை மாற்றம்	—	Deviation
திடப்பொருள்கள்	—	Solid objects
திடீரொளி	—	Flash
திட்டவெப்ப அழுத்தநிலை	—	N.T.P.
திணிப்பதிர்வுகள்	—	Forced vibrations
திணிப்பு அலைவுகள்	—	Forced oscillations
திண் சுவர்	—	Rigid boundary
திமில்	—	Hump
திரிபு	—	Strain
திரிபுற்ற	—	Strained
திருகு முனை	—	Terminal
திரும்ப ஒலியெழுப்புதல்	—	Play back
திரை	—	Screen
திறந்த ஜன்னல்	—	Open window
திறந்த மென்தாள்	—	Exposed film
துடிக்கும் நிலை	—	State of vibration
துடிப்பு	—	Pulse
துடிப்பு நிலைத் தொடர்பு	—	Phase relation
துணைச் சுருள்	—	Secondary coil

துண்டு — Segment
துத்த நாகம் — Zinc
துரப்பணம் — Drills
துளை — Aperture
துன்புறுத்தும் எதிரொலிகள் — Disturbing echoes
தூண்டு மின் சுருள் — Induction coil
தூளாகக் குலுக்கப்பட்ட — Shaken to pieces
தூவு — Strew
தெளி — Strew
தெளித்தல் — Spray
தெவிட்டு நிலை — Saturation
தேக்கி — Reservoir
தேய்வு — Waning
தேவைகள் — Requisites
தேற்றம் — Theorem
தொகுதி — Set
தொகுப்பு — Composition
தொங்கிகள் — Hangers
தொடர் — Progression, series, progressive waves, sequence
தொடர்பு இடைவெளி — Contact gap
தொடர்பு செய்பான் — Contact maker
தொடர்பு வலிமை — Relative strength
தொடுவாய் விசை — Tangential force
தொலைபேசி — Telephone
தொலைபேசி ஏற்பி — Telephone receiver
தொலைபேசி பரப்பி — Telephone transmitter
தொழில்நுட்ப — Technical
தொழில்நுட்ப ஒலியியல் — Technical acoustics
தோல் இசைக் கருவிகள் — Percussion instrument
தோல் நறுக்கு — Membraneous reed

ந

நசுக்கப்பட்ட — Damped
நயம் — Delicacy
நரம்புகள் — Nerves
நரம்பூசி — Fibre needle
நறுக்கு ஊது இசைக் கருவிகள் — Reed blown instruments
நாடா — Tape
நான்மடி — Fourth power

நிகர உதவி — Net help
நிக்கல் முலாமிடப்பட்ட — Nickel plated
நிதான மதிப்பு — Steady value
நிரப்பும் — Complementary
நிலை அச்சுகள் — Ordinates
நிலையலைகள் — Stationary waves
நிலை அதிர்வுகள் — Stationary vibrations
நிலை ஆற்றல் — Potential energy
நிலைமம் — Inertia
நிலையான அதிர்வெண்கள் — Steady frequencies
நிலையான கட்டைகள் — Fixed keys
நிலையான சாவிகள் — Fixed keys
நிலையான பேரழுத்தம் — Steady high pressure
நீட்சித் தகைவு — Tensile stress
நீட்டப்பட்ட — Elongated
நீட்டப்பட்ட ஜவ்வு — Stretched membrane
நீர்க்குமிழி — Cavitation
நீர் மூழ்கிக் கப்பல் — Submarine
நீள்வாட்ட விளிம்பு — Lengthwise edge
நீள் வட்ட — Elliptical
நுட்ப நேர-படித்தரம் — Precision time-standard
நுண்சுடர் — Slender flame
நுண்துளை — Orifice
நுண்துளை — Porous
நுண்மங்கள் — Bacteria
நுரைக்கல் — Steatile
நெஞ்சு — Chest
நெடுக்கை அடர்த்தி — Linear density
நெடுக்கைச் சார்பு — Linear function
நெட்டச்சு — Longitudinal axis
நெட்டதிர்வுகள் — Longitudinal vibrations
நெட்டலைகள் — Longitudinal waves
நெட்டலைவு நிலை அலைகள் — Longitudinal stationary waves
நெட்டழுத்த மின் விளைவு — Longitudinal piezo electric effect
நெருக்கம் — Condensation
நேர் எதிர் நிகழ்ச்சி — Reversible phenomenon
நேர்ப் பதிவேடு — Positive record
நேர் மின்வாய் — Anode
நேர் மின்வாய்ச் சுற்று — Anode circuit

நேர் மின்னோட்டம் — Anode current
நேர் விளைவு — Direct effect

ப

பகு சமன்பாடு — Differential equation
பகுதி — Portion
பகுதிகள் — Region; components
பகுப்பாய்வு — Analysis
பகுப்பாராய்ச்சி — Analytical
பகுவோசை — Differential tone
படர்ந்து — Creep
படலம் — Layer, blade shaped.
படிகம் — Crystal
படித்தர அச்சுகள் — Standard axis
படு கோணம் — Angle of incidence
படுக்கை அச்சு — Horizontal axis
பட்டடை — Anvil
பட்டை — Band
பதிவாகும் — Impressed
பதிவிடும் பொருள் — Record material
பதிவிடல் — Recording
பதிவு — Impression
பதிவு செய்யும் விசை — Recording head
பரப்புதல் — Transmision
பரவளைய ஆடி — Parabolic mirror
பர வளையக் கொம்பு — Parabolidal horn
பரிசோதனை — Experiment
பரிதி — Circumference
பருமக் குணகம் — Bulk modulus
பலமாக இயக்கப்பட்ட — Strongly excited
பல்கூட்டதிர்வுகள் — Complex harmonic vibrations
பல்கூட்டு — Harmonics
பல்கூட்டு ஒலி — Complex sound, complex note
பள்ளம் — Depression
பறக்கும் குண்டு — Flying bullet
பறவை — Rider
பற்றிக்கொண்டு — Cling
பனி நிலை — Dew point
பன்முக எதிரொலிப்பு — Multiple-reflection
பாகு நிலை — Viscosity

பாகுபாடு — Classification
பாடும் சுடர் — Singing flame
பாட்டரி — Battery
பாதம் — Base
பாதையின் அடர்த்தி — Density of the track
பாதையின் பரப்பு — Area of the track
பாதை வேறுபாடு — Path difference
பாரிஸ் சாந்து — Plaster of Paris
பார்வை நீடிப்பு — Persistence of vision
பால் பதனிடல் — Plasteurise
பாளம் — Blade shaped
பிதுக்கங்கள் — Protrusions
பித்தக் கற்கள் — Gall stones
பிரதிபலிக்கும் பொருள்கள் — Reflecting bodies
பிரதிபலிக்கும் விசை — Reproducing head
பிரதிபலிப்பு — Reflection
பிரதிபலிப்புக் கோணம் — Angle of reflection
பிரத்தியேக முறை — Special process
பிரளாமல் — Without rolling
பிரியும்பொழுது — At break
பிளப்பு — Slit
பிளாட்டினம் முனை — Platinum tip
பிளாஸ்டிக் குணம் — Plasticity
பின்னணி — Back-ground
பீரங்கி — Cannon
புகை படர்ந்த — Smoked
புகைப்படக் குழம்பு — Photographic emulsion
புகையிடப்பட்ட காகிதம் — Smoked paper
புல்லாங்குழல் — Flute
புள்ளொலி — Bird call
புற உணர்வு — Objective
புறம்பு — Infra
புற விசைகள் — External forces
புறவொலிகள் — External sounds
புனல் — Funnel
பெயர்ந்த இடம் — Displaced position
பெரிய டயட்டானிக் சுரவரிசை — Major diatonic scale
பெருக்கப்பட்டு — Amplified
பெருக்கம் — Amplification
பெருத்தமின்னழுத்தவேறுபாடு — High P.D.

பெருமம் — Maximum
பேசும் உறுப்பு — Organ of speech
பேச்சொலி — Articulation
பேஸிலார் ஜவ்வு — Basilar membrane
பேரலகு — Major scale
பொதுமைய — Concentric
பொம்மொலித் தேனீ — Humming bees
பொய்ச் சுருதி — Normal tone
பொருத்து — Super impose
பொது நிகழ்வு — Periodicity
பௌதிகப் பரும அளவு — Physical quantity
பௌதிகப் பண்பு — Physical quality
பௌதிக முறை — Physical system

ம

மடங்கு — Multiple
மணிப்பொறி ஏற்பாடு — Clock work mechanism
மண்டலம் — System, zone
மந்த சுருதி — Hum note
மந்தமான — Faint
மந்தம் — Depression
மந்த வாயு — Inert gas
மனப் பதிவு — Chest register
மனிதக் குரல் — Human voice
மன்றம் — Hall
மாறாத வேகம் — Constant speed
மாறா நிலை — Steady state
மாறியல் மின்தேக்கி — Variable condenser
மாறிலி — Constant
மாறுபடும் அடர்த்தி முறை — Variable density method
மாறுபடும் பரப்பு — Varying width
மாறுபடும் பரப்பு முறை — Variable width method
மாறும் மின்தாக்குகள் — Changing electrical impulses
மிகுவோசை — Summational tone
மிகை ஓசை — Extra tone
மின் அச்சு — Electrical axis
மின் ஒலி — Electro acoustic
மின் கலம் — Cell
மின் காந்த அலைகள் — Electro magnetic waves
மின் காந்தம் — Electro magnet

மின் சுடர் — Electro arc
மின் தடை மாற்றி — Rheostat
மின் தாக்குகள் — Electrical impulses
மின் தேக்கி — Condenser
மின் நிலைமம் — Inductance
மின் புலன் — Electric field
மின் பொறி — Electric spark
மின் முலாம் பூசும் தொட்டி — Electro plating bath
மின்னழுத்தம் — Voltage
மின்னிசைக் கவை — Electrically maintained fork
மின்னிழை — Filament
மின்னிறக்கக் குழாய் — Discharge tube
மின்னூட்டப்பட்ட — Charged
மின்னூட்டம் — Electric charge
மீட்சி இயல் — Elasticity
மீட்சி குணகம் — Young's modulus
மீட்சி குணங்கள் — Elastic properties
மீட்சி முறை — Elastic system
மீட்சி விசை — Elastic force
மீட்சி விரிவு — Elastic expansion
மீட்டதிர்த்த — Plucked
மீட்டப்படும் கம்பி இசைக் கருவிகள் — Plucked string instruments
மீட்டு — Pluck
மீந்த காந்தம் — Remanance
மீளும ஊடகம் — Elastic medium
மீள் விசை — Resorting force
மீன் கூட்டங்கள் — Shoals of fish
முகடு — Crest
முக்கோணப் பட்டகம் — Triangular prism
முடி — Hump
முடுக்கம் — Acceleration
முதல் சுரம் — Fundamental note
முதன்மைச் சுருள் — Primary coil
முரணிசை — Inharmonic
முரலொலி — Humming sound
முழு எண் மடக்கை — Integral multiple
முழு எதிரொலிப்பு — Total internal reflection
முழு விசை — Full force
முறுக்கு — Torsional

முறையான — Regular
முறையான இசை — Just intonation
முனை — Terminal
முனைத் துண்டு — Pole piece
மூலக்கூறு — Molecule
மூல சுரம — Fundamental
மூல சுருதி — Fundamental tone
மூலப் பிரதி — Mother shell, original
மூலம் — Origin
மூல வார்ப்பு உரு — Working matrix
மூன்றும் வரிசை — Third order
மெட்டுகள் — Frets
மெட்ரோனோம் — Metronome
மெல்லிதழ் — Foil, tissue
மெல்லிதழ் ஜவ்வு — Tissue membrane
மெல்லிதழ்த் தாள் — Tissue paper
மெல்லிய தகடு — Thin strip
மென்தாள் — Film
மென் தோல் கூடு — Capsule
மென்மைச் சுடர் — Delicate flame
மென் ஒலி — Soft sound
மேடு — Elevation
மேலே எழும்பு — Shoot up
மேல் சுரங்கள் — Upper partials, overtones, harmonics
மேல் சுர எதிரொலி — Harmonic echo
மேல் பொருந்து — Over lap
மைக்ரோஃபோன் — Microphone
மையநாடு விசை — Centrifugal force
மோட்டார் — Motor
மோதல் — Impact

ய

யு-குழாய் அழுத்தமானி — U-tube manometer

ர

ராடார் — Radar
ரிணை — Negative
ரிணைக் குறி — Negative sign
ரீஸ்னர் ஜவ்வு — Reissner membrane

ல

லமினு ஸ்பைராலிஸ் — Lamina spiralis

லம்பம் — Perpendicular
லயம் — Rhythm
லாகரிதம் — Logarithm
லாகரித விழுக்காடு — Logarithmic cents
லாகரித்மிக் சதம் — Logarithmic cents
லாரிங்ஸ் — Laryinx

வ

வகை — Type
வடிமுனை — Tap
வட்டம் — Circle
வட்டு — Spoal
வட்டுச் சங்கு — Siren
வட்டுருளை — Drum
வரம்பற்ற பரப்பு — Free surface
வரம்பு — Compass
வரிசை — Sequence
வரிப்பள்ளங்கள் — Striations
வரி வரியாக — Scanned
வரை — Trace
வரைபடத்தால் — Craphically
வரைபடம் — Trace
வரையறை — Definition
வர்க்க மூலம் — Square root
வர்க்கம் — Square
வலஞ்சுழி — Clock wise
வலியூட்டம் — Rein-forcing
வலிவான ஒளி — Powerful light
வலிவு அலுமினியம் — Duralium
வலுப்படுத்து — Rein-force
வளம் — Richness
வளர்ச்சி — Waxing
வளையம் — Loop
வளை வடிவ மண்டலங்கள் — Annular zones
வளைவுத் திருப்புதிறன் — Bending moment
வறண்ட காற்று — Dry air
வாட்டம் — Gradient
வாயுதானக் குழாய் — Gas supply tube
வாயுப் புழை வழி — Gas blower
வாய் ஒலிபரப்பி — Megaphone

வார்ப்படம்	— Mould
வார்ப்பிரும்பு	— Cast iron
வால்வு அலைவியற்றி	— Valve oscillator
வானிலைக் கூடம்	— Observatory
விகிதம்	— Ratio
விட்டம்	— Diameter
விட்டு விட்டு அளித்தல்	— Intermittent application
விம்மல் ஒலிகள்	— Beat tones
விம்மல்கள்	— Beats
விரைவான சுருக்கம்	— Quick contraction
விரைவான பெருக்கம்	— Quick expansion
வில் கூறு	— Spring factor
வில்லதிர்க்கப்படும் கம்பி இசைக் கருவிகள்	— Bowed string instruments
வில்லதிர்க்கப்பட்ட வயலின் நரம்பு	— Bowed violin string
வில்லதிர்த்தல்	— Bowed
வில்லை	— Disc
விளிம்பு மெருகேற்றல்	— Polishing the edges
விளிம்பு விலகல்	— Diffraction
விளிம்பு விலகு கீற்றணி	— Diffraction grating
விளைவு	— Resultant, effect
விறைப்புக் குணகம்	— Rigidity modulus
வீச்சு	— Blast, amplitude
வெக்டர் கூட்டுத் தொகை	— Vector sum
வெடிப்பொலி	— Explosion
வெட்டுத் துண்டு	— Intercept
வெட்டுவாய்	— Section
வெப்ப அயனி வால்வால் காக்கப்படும்	— Valve maintained
வெப்ப அயனி வால்வு	— Thermionic valve
வெப்ப ஆற்றல்	— Thermal energy
வெப்ப எண் விகிதம்	— Ratio of sp. heat
வெப்பக் காப்பாற்றல்	— Heat maintained
வெப்ப மாறுப் பரும அழுத்தம்	— Adiabatic
வெப்ப மாறு மாறுதல்கள்	— Adiabatic changes
வெளி	— Atmosphere, space
வெளிக் கூச்சல்கள்	— Extraneous noise
வெளிப்படையான	— Apparent
வெற்றிடமாக்கப்பட்ட	— Evacuated
வைனிலைட்	— Vinylite

கல்லூரி நூல் வெளியீட்டு இயக்குநரகம்

சென்னை

1970 ஜனவரிவரை வெளியிட்டுள்ள நூல்கள்

			ரூ.	பை.
பொருளாதாரம்				
*1.	பொருளாதாரம்—I	சி. வேலாயுதம்	6	50
*1 A	,, II	,,	9	00
*2.	சோவியத் பொருளாதார வளர்ச்சி	டாக்டர் எம். ஜே. கே. தவராஜ்	4	25
*3.	அமெரிக்கப் பொருளாதாரம்	,,	4	50
*4.	பொருளாதாரச் சிந்தனை வரலாறு	சோணாசலம்	7	00
*5.	பன்னாட்டு வாணிபம்	மு. ஆரோக்கியசாமி	6	00
6.	புதுமைப் பொருளாதாரக் கூறுகள்	திருமதி ஆர். தாமரஜாட்சி	12	00
7.	பொருளாதாரம்—ஓர் அறிமுகம்—I	தி. சி. மோகன்	12	00
8.	,, II	எம். ஏ. அபூர்வசாமி, பி. வி. ஸ்ரீநிவாசன்	10	75
9.	பொருளாதாரக் கோட்பாடு வளர்ந்த வரலாறு	க. முத்தையன்	7	00
10.	பணவியலும் பாங்கியலும்—I	சி. வேலாயுதம்	6	75
*11.	,, II	,,	11	50
*12.	நவீன பாங்கு இயல்	க. வெற்றிவேல்	7	50
*13.	இந்தியச் செலாவணியும் பாங்கு முறையும்	பி. வி. ஸ்ரீநிவாசன்	5	50
*14.	அரசாங்க நிதியியல்	அர. சேஷாசலம்	4	75
15.	இந்தியப் பொருளியல்—I	எம். பாலசுப்பிரமணியன்	10	00
16.	,, II	எம். லூர்துநாதன்	4	25

*மூல நூல் (Original Book)

பொருளாதாரம்—(தொடர்ச்சி)

			ரூ.	பை.
17.	நமது பொருளாதாரப் பிரச்சினை—I	சி. சுந்தரராஜன்	10	75
18.	,, II	எஸ். குழந்தைநாதன்	10	50
19.	இங்கிலாந்தின் பொருளாதார வரலாறு—I	கி. சீ. இராமசாமி	6	00
20.	,, II	,,	6	00
21.	அமெரிக்காவின் நவீன பொருளாதார வளர்ச்சி	தி. சி. மோகன்	5	00
22.	அமெரிக்கப் பொருளாதார வரலாறு—I	மு. க. சுப்பிரமணியம்	11	00
23.	,, II	பி. வி. சீனிவாசன்	6	00
24.	,, III	,,	6	50
25.	அரசாங்க நிதியியலின் பொருளாதாரம்—I	மா. குமாரசாமி	10	00
26.	,, II	அர சேஷாசலம்	9	50
27.	இந்தியாவின் பொருளாதார வளர்ச்சி—I	தே. வேலப்பன்	10	00
28.	,, II	ஜி. சிதம்பரம்	8	00
29.	பணம்—சிறு விளக்கம்	கோ. இராதாகிருஷ்ணன்	10	00
30.	வணிக இயலின் தத்துவங்கள்	கு. ஆளுடைய பிள்ளை	9	50
31.	பத்தொன்பதாம் நூற்றாண்டில் கிரேட் பிரிட்டனில் தொழில்-வாணிகப் புரட்சி	சு. ரா. கருப்பண்ணன்	11	00
32.	பென்ஹாம் பொருளாதாரம்—I	ஏ. குழந்தை	11	00
33.	,, II	எஸ். குழந்தைநாதன்	7	00
34.	வரவு செலவுத் திட்டம்	ஆர். ரங்காச்சாரி	6	00
35.	பன்னாட்டுப் பொருளாதாரம்—I	ஏ. குழந்தை	7	50
36.	,, II	கே. எஸ். இராமசாமி	9	00
37.	பொருளாதார ஆய்வு நூல்—I	கோ. இராதாகிருஷ்ணன்	7	75
38.	,, II	,,	7	00
39.	வளர்ச்சியுறாத நாடுகளின் அரசாங்க நிதியியல்	க. வெற்றிவேல்	4	25
40.	வளர்ச்சி குறைந்த நாடுகளில் முதலாக்கம் பற்றிய சிக்கல்கள்	மா. குமாரசாமி	5	50
41.	1939 முதல் இந்தியாவில் பணவீக்க விலைப் போக்குகள்	சி. சுந்தரராஜன்	7	50

42.	பொருளாதார வளர்ச்சி பற்றிய கட்டுரைகள் ...	எம். கே. சுப்பிரமணியம் ...	7	75
43.	இந்தியப் பொருளாதார வரலாறு (1857—1956)—I ...	ம. திருநாவுக்கரசு ...	7	00
44.	பொருளாதாரம்—ஓர் அறிமுகம் ...	பு. வி. சீனிவாசன் ...	6	25
வரலாறு				
*45.	பிரிட்டன் வரலாறு—I ...	கி. ர. அனுமந்தன் ...	4	50
*46.	„ II ...	„ ...	3	50
*47.	„ III ...	„ ...	7	25
*48.	ஐரோப்பிய வரலாறு—I ...	டி. வி. சொக்கப்பா ...	4	50
49.	ஐரோப்பா—கடந்த ஐந்து நூற்றாண்டு காலச் சரித்திரம் ...	வை. விருத்தகிரீசன ...	15	00
50.	இங்கிலாந்து வரலாறு—I	இரா. அண்ணாமலை ...	13	00
51.	„ II ...	பா. மாணிக்கவேலு ...	13	00
52.	„ III ...	என். ஜே. ராஜகோபால் ...	8	00
53.	„ IV ...	„ ...	8	00
54.	இங்கிலாந்தின் வரலாறு—I ...	க. த. திருநாவுக்கரசு ...	15	00
55.	„ II ...	எம். எக்ஸ். மிராண்டா ...	8	00
56.	„ III ...	„ ...	5	00
57.	இந்தியாவின் சிறப்பு வரலாறு—I ...	தி. வெ. குப்புசாமி ...	7	50
58.	„ II ...	ஏ. உஸ்மான் ஷெரீப் ...	9	00
59.	„ III ...	அ. பாண்டுரங்கன் ...	11	00
60.	கிரேக்க நாட்டு வரலாறு—I ...	சைமன் ஐ. எஸ். பாக்கியநாதன் ...	7	50
61.	„ II ...	„ ...	7	00
62.	„ III ...	பி. இராமானுஜம் தேவதாஸ் ...	7	75
63.	ஆக்ஸ்ஃபோர்டின் இந்திய வரலாறு—I ...	தி. வெ. குப்புசாமி ...	8	25
64.	„ II ...	ஏ. உஸ்மான் ஷெரீப் ...	7	50
65.	„ III ...	க. த. திருநாவுக்கரசு ...	10	00

*மூல நூல் (Original Book)

வரலாறு—(தொடர்ச்சி)

			ரூ.	பை.
66.	முகலாயப் பேரரசு—I	ஏ. உஸ்மான் ஷெரீப், எம். எக்ஸ். மிராண்டா	7	50
67.	,, II	எம். எக்ஸ். மிராண்டா, பா. மாணிக்கவேலு	7	75
68.	ஆங்கில அரசியலமைப்பின் வரலாறு—I	வை. விருத்தகிரீசன்	7	50
69.	,, II	வை. விருத்தகிரீசன், இரா. அண்ணாமலை	6	75
70.	,, III	இரா. அண்ணாமலை, பா. மாணிக்கவேலு	6	50
71.	,, IV	பா. மாணிக்கவேலு	7	00
72.	ஆங்கிலேயரின் சமுதாய வரலாறு—I	சி. ஈ. இராமச்சந்திரன்	6	50
73.	,, II	சி. ஈ. இராமச்சந்திரன், இர. ஆலாலசுந்தரம்	6	75
74.	,, III	ஆர். ஆலாலசுந்தரம்	6	50
75.	இந்தியாவில் முகலாயரின் ஆட்சி—I	பா. மாணிக்கவேலு	5	00
76.	,, II	ஏ. உஸ்மான் ஷெரீப்	6	00

அரசியல்

*77.	அரசியல் அமைப்புகள்	ஜே. இராமச்சந்திரன்	4	62
78.	அரசாங்கத்தின் வரலாறு	மோ. கிளாரன்சு, டி. டி. பெலிக்ஸ்	7	50
79.	இந்திய அரசியலமைப்பு	வீ. கண்ணையா	4	75
80.	அரசியலுக்கு ஓர் அறிமுகம்	டி. செல்லப்பா	8	50
81.	தற்கால அரசியல் அமைப்புகள்	மோ. வள்ளுவன் கிளாரன்சு	8	50
82.	பன்னாட்டு அரசியல்—I	திருமதி நூர்ஜஹான் பாவா	16	00
83.	,, II	,,	13	25
84.	பொதுத்துறை ஆட்சி இயல்—I	வீ. கண்ணையா	9	00
85.	,, II	இ. ஜெகதீசன்	7	25
86.	பொதுத்துறை ஆட்சியியலுக்கு ஓர் அறிமுகம்—I	வீ. கண்ணையா	7	50
87.	,, II	டி. செல்லப்பா	7	50

88.	இந்திய அரசியலமைப்புத் திட்டம்	தி. வெ. குப்புசாமி, எஸ். சுப்பிரமணியன்	9	25
89.	இந்திய ஆட்சி அமைப்புமுறை வளர்ச்சி—I	வீ. கண்ணையா	6	25
90.	,, II	வீ. கண்ணையா, கி. ர. அனுமந்தன்	5	75
91.	,, III	கி. ர அனுமந்தன்		
●92.	மக்கள் ஆட்சி	க. சந்தானம்	4	25
93.	1919 முதல் சர்வதேச உறவுகளும் உலக அரசியலும்	என். ஜே. ராஜகோபால்	7	75
94.	சமூக, அரசியல் கொள்கையின் அடிப்படைகள்	மோ. வள்ளுவன் கிளாரன்சு	7	00
95.	அரசியலமைப்புச் சட்ட ஆய்வுக்கு ஓர் அறிமுகம்—I	பா. சூரியநாராயணன்	5	75
96.	,, II	பா. சூரியநாராயணன், கி. ர. அனுமந்தன்	6	00
97.	,, III	கி. ர. அனுமந்தன்	5	75

உளவியல்

98.	குழந்தை உளவியல்—I	கி. ர. அப்புள்ளாச்சாரி	8	00
99.	,, II	,,	7	00
100.	உட்கவர் மனம்	சி. ந. வைத்தீஸ்வரன்	7	00
101.	இளையோர் உளவியல்—I	தி. இரா. அரங்கராசன்	12	00
102.	,, II	,,	9	00
103.	சமூக உளவியல்	என். வேதமணி மானுவேல்	9	25
104.	பிறழ்நிலை உளவியல்	அ. பெசன்ட் கிரீப்பர்ராஜ்	11	00
105.	பித்தரின் உள்ளம்	,,	3	00
●106.	குமர உள்ளம்	டாக்டர் மு. அறம்	6	25

●மூல நூல் (Original Book)

தத்துவம்			**ரூ.**	**பை.**
107.	இந்து சமயத் தத்துவம்	ஞா. ராஜாபகதூர்	5	50
*108.	அறிவு ஆராய்ச்சி இயல்	ஆர். ராமானுஜாச்சாரி	3	50
*109.	மேலைநாட்டுத் தத்துவம்	ஆர் எஸ். தேசிகன்	3	50
110.	அத்துவித தத்துவம்	கோ. மோ காந்தி	6	50
111.	ஆங்கிலேயப் பயன்வழிக் கொள்கையினர்	மோ. வள்ளுவன் கிளாரன்சு	5	50
112.	இந்தியத் தத்துவம்—I	வ. அ. தேவசேனுபதி, பா. நா. சண்முக சுந்தரம்	3	50
113.	,, II	,,	6	00
114.	மெய்ப்பொருளியல்—ஓர் அறிமுகம்—I	சி. இராமலிங்கம்	6	00
அறவியல்				
115.	அறவியல்—ஓர் அறிமுகம்	கோ. மோ. காந்தி	8	50
அளவையியல்				
116.	அளவையியல் தொடக்க நூல்	கி. ர. அப்புள்ளாச்சாரி	2	50
மானிடவியல்				
117.	மானிடவியல்	ம. சு. கோபாலகிருஷ்ணன்	4	75
118.	பண்பாட்டுக் கோலங்கள்	கி. பூ. சுப்பிரமணியம்	5	50
*119.	இந்தியாவில் குடியானவர் வாழ்க்கை	எஸ். இலட்சுமி	3	50
சமூகவியல்				
120.	சமூகவியலின் அடிப்படைக் கோட்பாடுகள்	ஜே. நாராயணன்	10	50

புவியியல்

121.	ஆசியா—I	கொ. சேஷ. நரசிம்மன்	9	50
122.	,, II	,,	8	75
123	ஐரோப்பாக் கண்டத்தின் புவியியல்	ஏ. எஸ். நாராயணன்	8	50
*124.	தென் கிழக்கு ஆசியா	ஜி. கிருஷ்ணமூர்த்தி	8	50
*125	வட அமெரிக்கா	குமாரி இரா. அலமேலு	8	25
*126.	தென் அமெரிக்கா	எம். என். பத்மநாபன்	9	00
*127.	தென் கண்டங்கள்—ஆஸ்திரேலியா	திருமதி எச் நியூமன்	4	00
*128.	,, —ஆஃப்ரிக்கா	எஸ். முத்துகிருஷ்ணக் கரையாளர்	3	25
*129.	புவிப்புறவியல்—II	நா. அனந்தபத்மநாபன்	6	00
*130	செய்முறைப் புவியியல்	சு. ஜெயச்சந்திரன்	9	00
*131	மக்கட்பரப்பியல்	வி. எஸ். அனந்தபத்மநாபன்	6	25
*132.	சமுத்திரவியல்	கோ. இராமசாமி	6	50
133.	காலநிலை இயல்—I	கொ. சேஷ. நரசிம்மன்	10	00
134.	,, II	,,	5	00
135.	காலநிலை இயல்	திருமதி இராதா	10	00
136.	வளியியலுக்கு ஓர் அறிமுகம்	கோ. இராமசாமி	11	00
137.	புவி அமைப்பு இயல்	சி. விஸ்வநாதன்	4	75
138	பௌதிகப் புவியியலும் புவியமைப்பியலும்	கோ. இராமசாமி	6	00
139.	சிஷோமின் வாணிகப் புவியியல்—I	எஸ். மாணிக்கம்	9	50
140.	,, II	எம். கார்த்திகேயன்	12	00
141.	,, III	சி. எஸ். நரசிம்மன்	5	75

*மூல நூல் (Original Book)

			ரூ.	பை.
புள்ளியியல்				
142.	புள்ளியியல்—அறிமுகம்	சு. வைத்தியநாதன்	10	00
143.	புள்ளியியல் முறைகள்—I	கோ. சண்முகசுந்தரம்	10	00
144.	,, II	இராஜகோபாலன்	14	00
*145.	நம்மைச் சுற்றியுள்ள பேரண்டம்	தி. வ. லட்சுமிநரசிம்மன்	6	50
உயர்கணிதம்				
*146.	ஆயத்தொலை வடிவகணிதம்	டி. கே மாணிக்கவாசகம் பிள்ளை	12	50
*147.	வகை நுண்கணிதம்	,,	8	00
*148.	தொகை நுண்கணிதம்	தி. கோவிந்தராசன்	9	00
விலங்கியல்				
*149.	விலங்கியல்	பெ. மா. அண்ணாமலை இரா. முருகேசன்	12	00
பௌதிகவியல்				
150.	ஒளி நூல்	ச. சம்பத்து	10	00
விஞ்ஞானம்				
*151.	வானவெளி வெற்றி	டாக்டர். எம். ஏ. தங்கராஜ்	6	00
*152.	ரேடியோ	டாக்டர் பி. திருஞானசம்பந்தம்	4	75
*153.	எக்ஸ்-கதிர்கள்	பெ. நா. அப்புசாமி, ஜே. பி. மாணிக்கம்	4	50
*154.	பாம்புகள்	பெ. மா. அண்ணாமலை	3	50
*155.	தாவரம்—வாழ்வும் வரலாறும்	டாக்டர் கு. சீனிவாசன்	8	00
*156.	கரும்பு	கு. பெரியசாமி	4	00
*157.	தாவரங்களின் வாழ்வியல்	எஸ். சுந்தரம்	6	50

மருத்துவம்

*158.	நீரிழிவு—க்ஷயரோகம்	...	டாக்டர் ஜி. வேங்கடசாமி	
			டாக்டர் ஏ. கதிரேசன்	... 2 50
				... 8 25
159.	மகப்பேறும் மாதர் நோயும்	...	டாக்டர். (குமாரி) மணிமேகலை	... 2 50
*160.	பாக்டீரியா	...	சு. சுந்தரம்	... 3 50
*161.	புற்றுநோய்	...	அ. கதிரேசன்	
162.	உடலியங்கியல்—I	...	டாக்டர்கள் ஜி வேங்கடசாமி, டி. சரோஜினி, எஸ். கே. துரைராஜ், ஆர். சேது	... 6 75
163.	,, II		,,	... 5 50
164.	என்புருக்கி நோய்	...	டாக்டர் அ. கதிரேசன்	... 7 25

பொறியியல்

165.	நீங்களே உங்கள் வீட்டைக் கட்டலாம்	...	கே. வி. கிருஷ்ணராஜ், சி. ஆர். சுப்பிரமணியம், ஆர். இராமசாமி, கே. வேணுகோபால்	... 8 50

கூட்டுறவு

166.	உலகக் கூட்டுறவு இயக்கம்	...	அ. வேல்மணி	... 5 50

சட்டம்

*167.	குற்றவியல் சட்டம்	...	எம். சண்முக சுப்பிரமணியம்	... 10 00

*மூல நூல் (Original Book)

பொது நூல்கள்

			ரூ.	பை.
168.	மகாத்மா காந்தி	சரஸ்வதி தங்கையன்	3	25
169.	விவசாயப் புரட்சி	வி. கார்த்திகேயன்	8	00
*170.	சேமக் கை-நூல்	ஆ. சுப்பிரமணியம்	2	50
*171.	முற்காலச் சோழர் கலையும் சிற்பமும்	எஸ். ஆர். பாலசுப்பிரமணியம்	9	00
*172.	உணவும் ஊட்டமும்	தி. வெங்கட கிருஷ்ணய்யங்கார்	4	50

புகுமுக (P. U. C.) வகுப்புகளுக்குரியவை

			ரூ.	பை.
*173.	உலக வரலாறு	டி. ஆர். இராமச்சந்திரன்	4	00
*174.	பொருளாதாரம்	ஜி. சிதம்பரம்	2	75
*175.	வணிகவியலுக்கு ஓர் அறிமுகம்—I	கு. ஆளுடைய பிள்ளை	2	50
*176.	,, II	,,	2	25
*177.	பௌதிகம்	டாக்டர் பி. திருஞானசம்பந்தம், ஆர். நாகராஜன்	7	50
*178.	புகுமுக பௌதிகம்	டாக்டர் எம் ஏ. தங்கராஜ்	5	75
*179.	புகுமுக வகுப்புக் கணிதம்—I	கே. ராஜகோபாலன்	7	00
*180.	,, II	,,	3	00
*181.	புகுமுக வகுப்புக் கணித நூல்—I	டி. கோவிந்தராஜன், முத்துசாமி	7	00
*182.	,, II	,,	4	50
*183.	கணிதம் ஓர் அறிமுகம்—I	ஆர். மகாதேவன்	4	75
*184.	,, II	,,	3	25
*185.	வேதியியல்	பி. டி. முனியப்பா, ஆர். முத்துலட்சுமி	7	00
*186.	புகுமுக வேதியியல்	சி. ஏ. பத்மநாபன்	5	50
*187.	விலங்கியல்	எஸ். ஆப்ரகாம்	4	00
*188.	புகுமுக விலங்கியல்	பெ. மா. அண்ணுமலை	7	25
*189.	புகுமுக வகுப்புத் தாவரவியல்	எஸ். சுந்தரம்	4	50

பட்டப்படிப்பிற்குரிய (B. Sc.) நூல்கள்

பௌதிகம் (Physics)

எண்	நூல்	ஆசிரியர்	ரூ.	பை.
*190.	எந்திரவியல்—சிறப்புப்பாடம் (Book I)	ஆர். நாகராசன்	6	25
*191.	வெப்பவியல்—சிறப்புப்பாடம்	கே. நாச்சிமுத்து	5	25
*192.	செய்முறை பௌதிகம்—சிறப்புப்பாடம் (Book I)	டி. கமலக்கண்ணன், எஸ். கிருட்டிணசாமி	4	50
*193.	பௌதிகம்—துணைப்பாடம்—I (Book I)	பி. தங்கராஜன்	4	00
*194.	,, (Book II)	,,	3	00
*195.	செய்முறை பௌதிகம்—துணைப்பாடம்	கே. பாசுகரன், இரா. செயராம்	4	50
*196.	மின்னியல் காந்தவியல் (Book I)	டி. ஏ. கருப்பண்ணன்	4	75
*197.	ஒளியியல் சிறப்புப்பாடம்	டாக்டர் வி. சண்முகசுந்தரம், டாக்டர் ஆர். சபேசன்	7	75

வேதியியல் (Chemistry)

எண்	நூல்	ஆசிரியர்	ரூ.	பை.
*198.	செய்முறைக் கனிம வேதியியல்—சிறப்புப்பாடம்	டி. இராமலிங்கம்	2	25
*199.	பௌதிக வேதியியல் (Book I)	டி. சக்திவேலு	4	00
*200.	கனிம வேதியியல்—துணைப்பாடம்	சி. ஏ. பத்மநாபன்	6	50
*201.	கனிம வேதியியல் (Book I)	பி. டி. முனியப்பா	4	00
*202.	பொது பௌதிக வேதியியல்-துணைப்பாடம்	ஆர். துளசிதாஸ்	4	75

கணிதம் (Mathematics)

எண்	நூல்	ஆசிரியர்	ரூ.	பை.
*203.	இயற்கணிதம்—சிறப்புப்பாடம் (Book I)	டி. கோவிந்தராஜன், கே. முத்துசாமி	4	20
*204.	தொகுமுறை வரைகணிதம்—சிறப்புப்பாடம்	ஆர். மகாதேவன்	2	50

*மூல நூல் (Original Book)

கணிதம்—(தொடர்ச்சி)

			ரூ.	ப.
●205.	எண்சார் கணிதம்—சிறப்புப்பாடம் ...	எம். எம். இராமசாமி	5	50
●206.	திரிகோண கணிதம்—சிறப்புப்பாடம் ...	வி. அரங்கநாதன்	3	25
●207.	கணிதம்—துணைப்பாடம் ...	ஆர். அனுமந்தராவ்	6	00
●208.	நிலையியல்—சிறப்புப்பாடம் ...	கே. இராஜகோபாலன்	5	00

புள்ளியியல் (Statistics)

●209.	புள்ளியியல்—துணைப்பாடம் ...	எஸ். கருப்பையா	3	50

விலங்கியல் (Zoology) ...

●210.	முதுகெலும்பற்றவை I—சிறப்புப்பாடம்	ஆர். முருகேசன்	11	50
●211.	,, II—சிறப்புப்பாடம் ...	திருமதி எஸ். கே. வள்ளி	11	25
●212.	முதுகுநாணுள்ளவை I—சிறப்புப்பாடம் (Book I) ...	திருமதி ராணி கந்தசுவாமி	8	00
●213.	,, (Book II) ...	,,	9	75
●214.	முதுகுத்தண்டுள்ளவை—II—சிறப்புப்பாடம் ...	திருமதி கிருஷ்ணவேணி நாராயணன்	11	75
●215.	முதுகெலும்பற்றவை—துணைப்பாடம் ...	என். இராமலிங்கம்	9	00
●216.	முதுகுநாணுள்ளவை—துணைப்பாடம் ...	வி. சேது	10	00

தாவரவியல் (Botany)

●217.	தாவர வெளி உள்ளமைப்பியல்களும் வகைப்பாட்டியலும்—சிறப்புப்பாடம் ...	கே. ராஜசேகரன்	1	00
●218.	தாவரப் புற அமைப்பியல் ...	கே. ாலச்சந்திரகணேசன்	[illegible]	25
●219.	தாவர உள்ளமைப்பியல் ...	டாக்டர் ஏ. கோவிந்தராஜுலு	1	25

●மூல நூல் (Original Book)